



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

POSGRADO EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LA COMPUTACIÓN

**“METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DE  
DINÁMICA ECONÓMICA UTILIZANDO ENFOQUES DE SISTEMAS  
DINÁMICOS”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS  
(COMPUTACIÓN)**

**P R E S E N T A:**

**LUIS ENRIQUE CORTÉS BERRUECO**

**DIRECTOR DE TESIS: DR. FELIPE DE JESÚS LARA ROSANO**

México, D.F.

2012.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# Índice

<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 1: Revisión de Enfoques.....</b>	<b>3</b>
1.1 Marco Teórico.....	3
Enfoques de Modelado de Sistemas Dinámicos.....	3
Modelado Matemático.....	3
Modelos de Simulación de Sistemas Complejos.....	4
Dinámica de Sistemas.....	4
KSim.....	6
Mapas Cognitivos.....	9
Modelos de Redes Neuronales de Impacto Causal Difuso.....	10
Modelos de Simulación Dinámica mediante Redes de Petri.....	10
Modelos Conceptuales mediante Redes de Petri.....	15
Redes de Creencias Difusas.....	16
Redes de Petri Difusas Ponderadas Conceptuales.....	18
Inferencia usando Redes de Petri Difusas Ponderadas Conceptuales.....	19
2.1 Conclusión.....	20
<b>Capítulo 2: Elección de un Marco Teórico.....</b>	<b>21</b>
2.1 Introducción.....	21
2.2 Metodología.....	21
2.3 Selección de la problemática.....	21
Complejidad.....	21
Problemática a tratar.....	23
2.4 Análisis y Selección del Marco Teórico del Problema.....	27
Revisión del Estado del Arte.....	27
Evaluación de las Teorías.....	36
Crítica.....	36
2.5 Conclusión.....	37

<b>Capítulo 3: Construcción de los Modelos.....</b>	<b>38</b>
3.1 Determinación de las Variables.....	38
3.2 Dinámica.....	40
Meta-nivel.....	40
Macro-nivel.....	43
Meso-nivel.....	49
Micro-nivel.....	53
3.3 Conclusión.....	61
<b>Capítulo 4: Implementación y Resultados.....</b>	<b>62</b>
4.1 Ciclo de Modelado.....	62
El Protocolo ODD.....	63
4.2 Aplicación del Ciclo de Modelado.....	65
Formulación de Preguntas.....	65
Hipótesis.....	65
Protocolo ODD.....	65
Implementación.....	70
Meta-nivel.....	71
Meso-nivel.....	73
Micro-nivel.....	76
Macro-nivel.....	78
4.3 Resultados.....	80
Meta-nivel.....	81
Meso-nivel.....	84
Micro-nivel.....	87
Macro-nivel.....	89

Sistema Completo.....	92
<b>Conclusiones Finales.....</b>	<b>98</b>
Trabajo futuro.....	98
Referencias.....	100

## **Introducción:**

En esta tesis se plasma una investigación consistente en el desarrollo de una metodología para construir modelos de dinámica económica que permitan incorporar y manipular diferentes variables de interés, hacer diagnósticos y simular diversos escenarios económicos, bajo el nuevo enfoque de la economía computacional.

De esta forma se pueden llevar a cabo experimentos sobre los modelos, alterando diversos parámetros y así llegar a conclusiones que sirvan para generar hipótesis que luego se validen y transformen en conocimientos. Todo esto sin generar problemas de tipo moral.

La tesis está dividida en cuatro partes. En la primera –Capítulo 1- se exploran una serie de enfoques que pueden ser utilizados en el desarrollo de la metodología; esto se hace principalmente con el objetivo de mostrar su evolución y revisar el estado del arte.

En una segunda parte –Capítulo 2- se inicia el desarrollo de la metodología con la elección de un proceso económico a ser modelado. Se revisa qué características hacen que dicho proceso sea susceptible a ser el objeto de estudio y la influencia que tiene esta elección en etapas posteriores.

En la tercera sección de esta tesis –Capítulo 3- se detalla la construcción del modelo del proceso económico seleccionado previamente. Es aquí donde se profundiza en la implementación y funcionamiento de los enfoques revisados en la primera parte.

En el cuarto Capítulo se proporcionan las herramientas necesarias para determinar si el modelo es válido o no. Esto se ejemplifica mediante una serie de pruebas que se aplicarán a los resultados obtenidos por el modelo propuesto en este trabajo.

Finalmente se incluyen las conclusiones a las que se llegaron en la realización de esta investigación.

## **Justificación de la investigación**

Desde los inicios de la humanidad el hombre ha buscado conocer y explicar, en la medida de lo posible, los hechos y fenómenos que lo rodean. Para lograr este fin ha creado diferentes herramientas, muchas de las cuales han dado origen a la tecnología utilizada hoy en día y otras han influido profundamente en la historia y la cultura. Sin embargo aún queda un largo camino por recorrer, pues todavía existen muchos huecos en el conocimiento, no sólo en lo que respecta al entorno, sino especialmente a los fenómenos que se derivan de nuestras actividades conjuntas, dentro de las que se encuentra la economía, de la cual formamos parte, y afecta de diversas maneras y en distintos grados. Una buena economía provee mejores oportunidades para el desarrollo humano, mientras que una mala trae como consecuencia diversas complicaciones, sobre todo de índole social.

El conocimiento sobre el estado de la economía, en donde el individuo se encuentra inmerso, es de suma importancia; el desconocimiento puede ocasionar una mala toma de decisiones, por ejemplo, otorgar créditos hipotecarios de forma desmedida originará una crisis económica. No sólo es importante conocer el estado actual de la economía, sino que también es sumamente útil poder hacer predicciones, la ausencia de éstas, hechas sobre distintos escenarios, puede dejar en riesgo una inversión.

Hacer predicciones económicas es una tarea altamente complicada debido a que la economía surge como consecuencia de la actividad humana diaria y afecta a las futuras, es decir, existen lazos de retroalimentación que originan una dinámica complicada. Lo antes expuesto se observa sólo si se toma en cuenta a la economía como un sistema holístico, sin embargo, la economía de una región está compuesta por diversos elementos que interactúan unos con otros mediante lazos que pueden ser de alimentación hacia adelante o bien de retroalimentación, lo que crea una dinámica compleja, difícil de estudiar.

Para analizar un fenómeno o hecho es sumamente útil generar modelos que se comporten de una manera similar a lo estudiado. En el caso de fenómenos complejos, como lo es la economía, generar modelos es una tarea ardua, debido a la cantidad de información que se debe considerar. Para pugnar con esta problemática se han hecho diferentes propuestas.

# Capítulo 1: Revisión de Enfoques

## 1.1 Marco Teórico

Antes abordar la metodología se hará una revisión de los tipos de modelado que se encuentran en el estado del arte. Esto se hace con la finalidad de que el modelo propuesto en esta investigación se encuentre en la frontera del conocimiento y que ésta avance.

Así, una de las innovaciones que ha tenido mayor impacto en la ciencia y la tecnología es la computadora. Conforme se ha dado el avance del conocimiento en el área de la computación – hasta convertirse en una ciencia por sí misma- han surgido nuevos campos, como la biología computacional donde la aplicación de algoritmos y la utilización de modelos computacionales sustenta nuevas investigaciones y ha permitido la evolución del conocimiento.

Al igual que en muchas otras ciencias, en la economía también se empezó a utilizar la computación para obtener nuevos conocimientos o formular nuevas hipótesis, originándose así la economía computacional. Pero, a diferencia de otras ciencias, en la economía se prefiere trabajar utilizando la forma asunciones-teorema-prueba, lo que ha dificultado que la economía computacional cobre tanta fuerza como sus análogas en otras ciencias. A pesar de esto existe una gran variedad de modelos, métodos y aplicaciones que posicionan a la economía computacional como un buen complemento, contribuyendo con información cuantitativa sobre las teorías modeladas y, en algunos casos, se ha utilizado como sustituto de la teoría económica, para lograr un avance en el conocimiento [10]. Debido a lo mencionado se hace necesario realizar una revisión de los enfoques disponibles actualmente y hacer una elección que permita desarrollar una metodología para construir modelos de dinámica económica.

### *Enfoques de Modelado de Sistemas Dinámicos*

#### ***Modelado Matemático***

En este enfoque se toman las relaciones, parámetros y variables de un fenómeno o proceso bajo estudio y se expresan de diversas formas: ecuaciones diferenciales, modelos estocásticos, modelos estadísticos, entre otros. Esto permite que el modelo obtenido exprese de manera muy completa y precisa el comportamiento del objeto estudiado.

Un inconveniente, por ejemplo, es que si el modelo incluye ecuaciones diferenciales parciales no lineales sin solución analítica, se tendría que recurrir al empleo de métodos numéricos para obtener resultados a la salida del modelo. Si este fuera el caso, hacer funcionar al modelo podría ser demasiado costoso, sobre todo en términos de tiempo.

Otro problema de los modelos formulados bajo este enfoque es la estimación de los parámetros de las ecuaciones, para lo cual se requiere de una gran cantidad de información que es difícil y costoso de obtener.



Sin embargo la mayor dificultad que se enfrenta, en este caso en particular, es que al estar estudiando sistemas de carácter socioeconómico, no se encontró una teoría que tome en cuenta a los elementos que intervienen en la economía que sirva como base para la formulación de un modelo matemático.

De lo anterior se puede determinar que es poco viable elegir este paradigma para desarrollar una metodología.

### ***Modelos de Simulación de Sistemas Complejos***

Este acercamiento es de tipo holístico y le da prioridad al análisis de las interacciones presentes entre las partes que constituyen el sistema bajo estudio; plantea que para poder desarrollar un modelo se debe observar minuciosamente al sistema para así descomponerlo en sus partes elementales e identificar de qué manera se relacionan y posteriormente se inicia la construcción del modelo.

Dentro de este tipo de modelado se han desarrollado varias técnicas, dentro de las cuales destacan:

#### ***Dinámica de Sistemas***

Aparece en un artículo de Jay W. Forrester en 1958 [11]. Proporciona fundamentos que pueden aplicarse a cualquier situación en donde se pretenda entender o modificar la forma en que un fenómeno o proceso va cambiando a través del tiempo.

Este enfoque empieza con la identificación de un problema a ser resuelto. Una vez iniciado el proceso el primer paso es obtener la mayor cantidad de información posible sobre el fenómeno en cuestión, la cual deberá ser organizada utilizando conceptos derivados del control por retroalimentación para obtener así modelos de simulación por computadora. En este paradigma la computadora toma el rol de simulador, actuando como lo harían los elementos involucrados en el sistema real, revelando las implicaciones contenidas en el comportamiento del sistema que fue descrito en el modelo.

A pesar de que puede creerse que este enfoque ofrece mucha libertad para la creación de modelos, existen varias prácticas que es conveniente seguir para llevar a cabo un buen trabajo [9].

La primera de ellas consiste en establecer los límites del modelo, de tal forma que los mecanismos de causalidad presentes en el sistema estudiado, se encuentren dentro de dichos límites. Esta sencilla práctica marca una gran diferencia entre la dinámica de sistemas y otras técnicas de modelado.

La segunda práctica se refiere al uso de la información. La efectividad del modelo depende, en gran medida, del uso que se le da a toda la información que surge al observar

un sistema. Bajo este paradigma el enfoque se hace en las declaraciones del comportamiento del sistema, ya que serán usadas como las unidades básicas de construcción del modelo.

Con la continua utilización de este enfoque se recomienda dividir la información en 3 grupos: base de datos mental, base de datos escrita y base de datos numérica. Esto sirve para hacer énfasis en que un dato no es solamente información numérica, sino que es todo aquello que se obtiene al ser encontrado a partir de experiencias, es material que sirve como base para la discusión, inferencia o determinación de comportamientos, o en su forma más general, es cualquier información detallada.

En la base de datos mental se puede encontrar principalmente información sobre conductas humanas, debido a que la gente asimila información operativa directamente de un aprendizaje o a través de experiencias.

Al moverse hacia las siguientes categorías se encuentra menos información dedicada a la estructura y descripción de políticas o conductas, sin embargo estas categorías no deben menospreciarse.

La base de datos escrita contribuye en diferentes etapas a la construcción del modelo. La información impresa, diaria o semanalmente, proporciona las condiciones del medio en las que se encuentra inmerso el sistema bajo estudio, lo cual ayuda en la toma de decisiones sobre la estructura del modelo propuesto en este trabajo.

La información numérica se utiliza de tres maneras: la primera es que en medio de ella se pueden encontrar algunos parámetros necesarios para el modelo; la segunda utilidad consiste en que esta información generalmente es concebida por diferentes personas y por ende cubre diversos ángulos o puntos de vista sobre cómo se relaciona esta información entre sí; finalmente, debido a la cantidad de datos, es posible hacer una comparación entre éstos y la salida del modelo y así obtener una evaluación del mismo.

La construcción de modelos se concibe como un proceso circular en el que se incluye crear la estructura del modelo, probar su comportamiento, comparar el comportamiento con conocimientos que se tengan del sistema real que se pretende representar y, si es necesario, hacer reconsideraciones sobre la estructura.

Durante todo ese proceso se debe estar pendiente de nuevos descubrimientos acerca del comportamiento, es decir, si se encuentran comportamientos que no eran esperados en base a lo que se sabe sobre el proceder del fenómeno bajo estudio. Estos comportamientos inesperados generalmente señalan defectos del modelo; aún así se debe estar pendiente de que se esté revelando algo nuevo.

Sin embargo, más importante que encontrar comportamientos inesperados es el encontrar características generales que se puedan aplicar a todo un conjunto de sistemas.

En los últimos años este enfoque ha cobrado fuerza debido a su capacidad para modelar procesos complejos [15] tales como: difusión de nuevas tecnologías, dinámica de enfermedades infecciosas como el VIH, congestiones de tráfico, entre otras. Todo esto a partir de unos cuantos conceptos denominados modos fundamentales de comportamiento dinámico.

A pesar de todas las bondades de esta técnica es necesario mencionar que posee una limitante, el proceso de modelado es dependiente del conocimiento y entendimiento previos sobre el fenómeno o proceso estudiado.

### *KSim*

Fue propuesto en 1972 por Juluis Kane [8] quien lo concibió como un lenguaje de simulación basado en el análisis de impacto cruzado, cuya principal característica es el permitir el uso de datos de cualquier nivel, desde estimaciones subjetivas hasta mediciones físicas muy precisas. Además, los cálculos realizados por la computadora juegan el papel de proyecciones lógicas de hipótesis básicas y no de imperativas dogmáticas, como en muchos otros tipos de modelado social, económico, tecnológico y ecológico.

Su principal objetivo es eliminar la barrera que se crea entre aquellas personas que formulan y conciben el modelo de simulación y las que utilizarán los resultados que éste arroje [8].

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- a) Todas las variables consideradas relevantes se enlistan y se les asigna un nombre o etiqueta.
- b) Para determinar la forma en cómo interactúan las variables se crea una tabla o matriz a la que se denomina matriz de interacciones. La tabla tendrá un número de renglones igual a la cantidad de variables enlistadas. El número de columnas de la tabla puede ser igual al número de variables, sin embargo en muchos casos es deseable agregar al menos una columna más para que el sistema pueda considerar acciones que vengan del exterior, y que afectarán al sistema pero él no podrá actuar sobre ellas.
- c) En cada celda de la matriz se colocará el nivel de acción que tendrá la variable de la columna en cuestión hacia el renglón correspondiente. Una entrada positiva en la celda indica que la acción de la variable A hacia la variable B es positiva, es decir, A propicia el crecimiento de B; el crecimiento será proporcional al tamaño relativo de A y a la magnitud del coeficiente de interacción.

Es importante señalar que las entradas en la matriz no necesariamente deben ser simétricas.

Una matriz de interacciones puede verse de la siguiente forma:

**TABLA 1. Matriz de Interacción de Modos de Transportación**

Impacto	SST	B 747	JET	STOL	VTOL	HSG	CM	INTERVENCIÓN
SST	+	-- --	--	+	0	+	---	0
B 747	-	+	++	++	+	+	---	0
JET	--	-- --	-	-	0	-	0	0
STOL	++	+++	++	+	--	0	-	0
VTOL	+	+	+	--	+	-	-	0
HSG	+	+	0	--	--	+	--	++
CM	0	0	0	0	0	0	0	0

Obsérvese que el impacto va de la columna hacia la fila. Entonces el impacto de JET sobre B 747 es +2 y el impacto de B 747 sobre JET es -4.

d) Invariablemente en los sistemas existe un mínimo por el cual una variable no puede descender y lo mismo ocurre en sentido contrario, es decir, existe un máximo para el cual una variable no puede ir más allá. Tomando esto en cuenta siempre es posible escalar el rango de las variables implicadas en un intervalo entre cero y uno.

e) Una vez creada la matriz de interacciones y escalado el rango de las variables, se coloca una entrada en el sistema, esto es que a cada variable se le asigna un valor, conformando así una configuración inicial.

f) En el funcionamiento de la simulación, cada interacción es ponderada proporcionalmente a la fuerza de la interacción y al tamaño relativo de la variable que produce la interacción. El aumento o disminución de las variables es de tipo logístico, ya que de esta manera las reacciones se limitan cerca del umbral o de la saturación. La

respuesta de una variable a un impacto dado se acerca a cero a medida que la variable va alcanzando su límite superior o inferior, mientras que en todas aquellas variables que hayan sufrido cambios muy pequeños producen un impacto mayor en el sistema.

Con todo lo anterior se tiene la siguiente condición:

$$0 < x_i(t) < 1 \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \text{ y toda } t > 0. \quad (1)$$

Para mantener las condiciones de los límites,  $x_i(t + \Delta t)$  se calcula mediante la siguiente transformación:

$$x_i(t + \Delta t) = x_i(t)^{p_i} \quad (2)$$

Donde:

$$p_i(t) = \frac{1 + \frac{\Delta t}{2} \sum_{j=1}^N (|\alpha_{ij}| - \alpha_{ij}) x_j}{1 + \frac{\Delta t}{2} \sum_{j=1}^N (|\alpha_{ij}| + \alpha_{ij}) x_j} \quad (3)$$

Así  $\alpha_{ij}$  son elementos de la matriz dando el impacto de  $x_j$  sobre  $x_i$  y  $\Delta t$  es el periodo de tiempo de una iteración del sistema.

La expresión anterior garantiza que  $p_i(t) > 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, N$  y toda  $t=0$ . De esta forma la transformación siempre mapea el intervalo  $(0,1)$  dentro del mismo, haciendo que cuando los impactos negativos son más grandes que los positivos,  $p_i > 1$  y  $x_i$  disminuye; mientras que si sucede que los impactos negativos son menores que los positivos,  $p_i < 1$  y  $x_i$  aumenta. Finalmente si los impactos negativos y positivos son iguales,  $p_i = 1$  y  $x_i$  permanece constante.

A pesar de que puede pensarse que los coeficientes de la matriz de interacciones deben ser constantes, la verdad es que no es una condición necesaria, cualquiera de estos coeficientes puede ser una función del estado de las variables y del tiempo.

Este modelo es importante porque comunica dos cosas:

Completitud: La necesidad de considerar todas las interacciones. Si tenemos  $n$  variables entonces existen  $n^2$  interacciones y se debe tener consciencia de esto.

La estabilidad emerge de la complejidad. Mientras más variables estén interrelacionadas el sistema se hará más resistente a cambios arbitrarios.

También se puede observar que la estructura del sistema, es decir, la naturaleza de sus interacciones, es mucho más importante que el estado del sistema.

A pesar de todo lo positivo de este procedimiento de modelado, se tienen los siguientes inconvenientes:

Calibración: aunque el modelo fácilmente acepta entradas de tipo cualitativo, se necesitan métodos más precisos para llegar a los parámetros necesarios en el impacto cruzado.

Modelos de simulación de orden superior: para poder alcanzar mayor realismo se considera el uso de modelos en cascada de este tipo, lo que aumentaría en gran medida la complejidad del modelo final.

Adaptabilidad: de manera natural, no se percibe una variable sino más bien cambios en la variable. De manera más concreta, los seres humanos nos aclimatamos a nuestro entorno y sólo resentimos cambios grandes en él y este modelo no representa esa realidad.

### Mapas Cognitivos

Fue propuesto por Robert Axelrod en 1976 [12], en ellos se realiza una representación causal del conocimiento de las personas utilizando grafos con signos, donde los nodos representan variables conceptuales (como inestabilidad social por ejemplo) y los arcos son conexiones causales; un arco con signo positivo de A hacia B indica que A causalmente incrementa B, mientras que un arco negativo de A hacia B indica que A causalmente decrece B. Dicha estructura ayuda a la propagación de la causalidad favoreciendo, sobre todo, el encadenamiento hacia adelante y en retroalimentación, además permite ampliar fácilmente las bases de conocimiento al realizar conexiones de varios mapas cognitivos.

Estos mapas son muy útiles, sin embargo existe un inconveniente al emplearlos y es que, para este enfoque, el conocimiento es un caso específico de clasificación y causa, las cuales por lo general son vagas o no muy bien delimitadas. Esta vaguedad es el origen del problema, pues se transmite a la representación del conocimiento y por ende a su procesamiento, surgiendo así el problema de la Adquisición/Procesamiento [7].

Debido al surgimiento del problema anterior, Bart Kosko en 1986 creó los Mapas Cognitivos Difusos que permiten subsanar el problema de la Adquisición/Procesamiento al admitir valores difusos en los arcos que conectan los nodos. Sin embargo para hacer esto posible desarrolló un Álgebra Causal Difusa.

Este enfoque no presenta inconveniente, sin embargo se debe notar que sirve para la creación de representaciones de conocimiento, es decir, no realiza ningún tipo de simulación sobre la información representada, aunque debido a la forma en cómo codifica la información, es de suma utilidad para formar bases de conocimiento que sirven a otros enfoques.

### Modelos de Redes Neuronales de Impacto Causal Difuso

Como ya se mencionó, el enfoque anterior es muy eficiente y sería interesante poder utilizarlo y procesar la información contenida. Es por esto que en 1995, Felipe Lara-Rosano creó [13] una extensión de los mapas de Kosko, tomando la metodología de KSIM de Kane, aprovechando los principios de las redes neuronales. De esta forma logró que los mapas fueran capaces de aceptar información como entrada, procesarla en base a la información contenida en el mapa y producir así una salida. Sin embargo, este enfoque tiene la limitación de no tomar en cuenta el manejo de eventos que puedan ser provocados por cambios en el entorno.

Gran parte de su comportamiento es capturado por el siguiente enfoque y por lo tanto no se ahonda en su descripción en este apartado.

### Modelos de Simulación Dinámica mediante Redes de Petri

Los sistemas complejos en las ciencias sociales se caracterizan por [6]:

- a) Muchos elementos interrelacionados, asíncronos, acoplados de forma no lineal y -en muchos casos- de manera difusa, además de que generalmente existen lazos de retroalimentación tanto positiva como negativa.
- b) Los elementos que los componen son dinámicos y su comportamiento depende del estado de otros elementos del sistema.
- c) El comportamiento del sistema se ve influenciado por eventos que dependen de condiciones internas, contextuales o ambientales.

Los enfoques anteriores resuelven los primeros dos factores, sin embargo el tercer factor, que en muchos casos es vital para determinar el comportamiento del sistema, queda fuera de su alcance.

En 1996 Felipe Lara-Rosano extendió [6] su modelo de FCINNM, transformándolo en una red de Petri para poder así incluir el manejo de los eventos, y en 1997 amplió [5] estas redes para manejar eventos cuya ocurrencia es incierta debido a su naturaleza estocástica.

Una red de Petri es una red neuronal con dos tipos diferentes de neuronas -denominadas transiciones- y lugares, que se encuentran conectadas entre sí mediante arcos dirigidos que indican qué lugares son pre y/o post-condiciones para una cierta transición; cabe señalar que los arcos sólo pueden unir transiciones con lugares y viceversa, nunca lugares con lugares ni transiciones con transiciones. A los lugares se les puede marcar con fichas; cuando todas las precondiciones de una transición están marcadas, ésta puede dispararse consumiendo las fichas de las entradas y colocando una ficha a cada post-condición que tenga. Este tipo de redes pueden modelar procesos definidos por una lógica binaria como

procesos caracterizados por una lógica difusa. Es importante mencionar que los procesos modelados deben ser de tipo discreto.

Formalmente se puede definir a las redes de Petri como una tupla de 4 elementos  $N=(P, T, I, O)$ .

Donde:

$P=\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  conjunto finito de lugares y además  $n \geq 0$ .

$T=\{t_1, t_2, \dots, t_m\}$  conjunto finito de transiciones y además  $m \geq 0$ .

Ambos conjuntos son disjuntos, es decir, se cumple  $P \cap T = \emptyset$

$I : T \longrightarrow P^\infty$  función de entrada (que es un mapeo de transiciones a conjuntos de lugares).

$O : T \longrightarrow P^\infty$  función de salida (que es un mapeo de transiciones a conjuntos de lugares).

Un lugar  $p_i$  es una entrada para una transición  $t_j$  si  $p_i \in I(t_j)$ .

De forma similar  $p_i$  es un lugar de salida para la transición  $t_j$  si  $p_i \in O(t_j)$ .

Las redes de Petri pueden representarse gráficamente por medio de grafos bipartitas, es decir, tienen dos tipos diferentes de nodos: lugares y transiciones. Así, algunos arcos dirigidos conectan lugares con transiciones y otros conectan transiciones con lugares. No existen arcos conectando transiciones con transiciones ni lugares con lugares.

Para modelar el sistema estudiado como una red de Petri se define la siguiente estructura:

a) Se distinguen dos tipos de elementos:

Variables de dominio: cuyos valores definen el estado del sistema y que serán representados con lugares.

Eventos: son acciones que pueden ocurrir con cierta probabilidad, dependiendo de las precondiciones definidas en términos del estado del sistema y se representan con transiciones.

Las precondiciones son descripciones lógicas del estado del sistema que inducen, de manera incierta, la ocurrencia de cierto evento que depende así, de factores externos y/o del estado interno del sistema. Algunas variables incrementarán la probabilidad de ocurrencia mientras otras reducirán esta posibilidad. Los eventos también tienen un impacto sobre los valores de una o más variables, afectando de este modo el estado del



sistema. Los cambios inducidos por los eventos conforman las postcondiciones. Por consecuencia, entre ambos tipos de elementos existen relaciones causales representadas por arcos dirigidos.

Las variables de dominio se mapean como los lugares de la red de Petri y los eventos corresponden a sus transiciones. Gráficamente las variables se representan con círculos y los eventos con barras. Las entradas de una transición son las precondiciones del evento correspondiente y las salidas son sus postcondiciones.

b) Las variables siempre tienen eventos como antecedentes causales directos y los eventos siempre tienen variables como antecedentes causales directos, excluyendo el caso de los eventos externos que provoca el ambiente en que se halla inmerso el sistema.

De ser necesario, entre dos variables se puede introducir un evento virtual: el impacto de la primera variable sobre la segunda. De igual forma entre dos eventos se puede colocar una variable virtual: la probabilidad de ocurrencia del segundo evento.

c) Las variables pueden tener valores numéricos o lingüísticos. En el caso de ser lingüísticos deben ser convertidos a funciones de pertenencia y mapearse a un valor numérico para que el modelo los procese. Las probabilidades tomarán valores en el intervalo  $[0,1]$ . El intervalo de valores de una variable debe estar bien determinado por un valor máximo y un mínimo, además debe poderse escalar al intervalo  $[0,1]$ .

Cuando el valor de una variable satisface las precondiciones de un evento incrementando la probabilidad  $p_i$  de ocurrencia de un evento  $i$  más allá de un umbral  $u_i$ , esto es, el nuevo valor de probabilidad de ocurrencia  $p_i' > u_i$ , se coloca una ficha o marca sobre la variable. Un marcado  $\mu$  es una asignación de fichas a las variables de la red. Si una variable es antecedente causal de varios eventos, con diferentes conjuntos de precondiciones, se asignan marcas de diferentes colores, una por cada conjunto diferente de precondiciones satisfechas.

Si todas las precondiciones de un evento tienen fichas, el evento se habilita y ocurre con probabilidad  $p_i'$ , que es la probabilidad de ocurrencia actualizada. En la ejecución del modelo la probabilidad se utiliza en un proceso aleatorio para decidir si el evento correspondiente ocurre o no.

d) El disparo de una transición es un evento instantáneo o primitivo. Si fuera necesario representar eventos no instantáneos se utilizan dos eventos primitivos y una variable de la siguiente forma: evento primitivo "Empieza el evento no instantáneo", variable "el evento no instantáneo está ocurriendo", evento primitivo "fin del evento no instantáneo".

e) El sistema interactúa con el ambiente en que se halla inmerso a través de sus entradas y salidas. Las entradas son eventos externos sin antecedentes causales y constituyen la capa de entrada de la red neuronal, representan la descripción de un escenario o las decisiones

tomadas por alguien, lo que permite incorporar simulación de políticas o conductas en el modelo.

Las salidas son variables, que pueden ser difusas, o eventos que dan una respuesta del sistema hacia el medio ambiente en que se encuentran. Si hay variables difusas de salida también deben ser escalables en el intervalo  $[0,1]$ .

f) El valor de un lugar difuso de la capa oculta o de la capa de salida es una función de su valor anterior y el impacto causal de las transiciones, actuando a través de sus conexiones ponderadas.

Una conexión  $e_{ij}$  de una transición  $i$  a un lugar  $j$  tiene un peso que permite medir de manera difusa que tanto  $i$  provoca  $j$ . Estos pesos  $e_{ij}$  pueden tomar valores en el intervalo  $[-1,1]$ . La ausencia de una conexión o  $e_{ij}=0$  indica no causalidad. Valores negativos ( $e_{ij}<0$ ) indican una correlación causal negativa; valores positivos ( $e_{ij}>0$ ) indican una correlación causal positiva.

Estas influencias causales de los eventos sobre las variables pueden expresarse en una matriz  $A$ . De esta forma si “ $e$ ” es el número de transiciones de entrada, “ $n$ ” es el número de transiciones en las capas ocultas, “ $m$ ” es el número de lugares en las capas ocultas, y “ $q$ ” es el número de lugares en la capa de salida, el elemento  $a(i,j)$  de la matriz  $A_{(e+n)\times(m+q)}$  es el peso asociado a la relación causal entre la  $i$ -ésima transición y el  $j$ -ésimo lugar.

g) Si las variables son difusas y se expresan mediante funciones de pertenencia, deben ser convertidas a valores numéricos para que puedan ser operadas por el modelo. Los valores no difusos iniciales de las variables en las capas ocultas y en la capa de salida definen un vector de estado inicial  $x(0)_{1\times(m+q)}$ .

h) Del vector de estado  $x(t)$  en el tiempo  $t$  y la matriz  $A$ , se puede calcular  $x(t+\Delta t)$  elemento por elemento, aplicando el procedimiento de Kane de la siguiente forma:

- Las transiciones de entrada disparan o no, dependiendo de las condiciones del problema.
- Los lugares de las capas de entrada y de la capa de salida obtienen valores  $x(t+\Delta t)$  de acuerdo a sus valores anteriores  $x(t)$  y de los impactos causales que reciben de las transiciones que les anteceden. Se consideran las transiciones de la capa de entrada y de las capas ocultas que tienen conexiones causales con el lugar  $j$ . Se observa cuáles de éstas disparan, esto es que sus eventos asociados ocurrieron. Cada una de estas transiciones  $i$  toman influencia sobre el lugar  $j$  de acuerdo al peso  $a_{ij}$ .
- Se calcula  $S_j^+(t)$ , que es la suma de todas las influencias positivas en el tiempo  $t$  sobre el lugar  $j$  y también se calcula  $S_j^-(t)$ , que es la suma de todas las influencias negativas:

$$S_j^+(t) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{e+n} (|a_{ij}| + a_{ij}) \quad (4)$$

$$S_j^-(t) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{e+n} (|a_{ij}| - a_{ij}) \quad (5)$$

- El valor del lugar j, ya sea de la capa de salida o de las capas ocultas, se calcula por la fórmula:  $x_j(t + \Delta t) = x_j(t)^{c_j(t)}$  (6)

$$\text{Donde } c_j(t) = \frac{1 + \Delta t |S_j^-(t)|}{1 + \Delta t |S_j^+(t)|} \quad (7)$$

- El procedimiento se repite hasta obtener todos los valores de los lugares para el tiempo t+Δt.

i) La probabilidad de disparo de una transición k en una capa oculta, es una función de su valor anterior y el impacto de las conexiones ponderadas pertenecientes a las precondiciones necesarias que se distinguen cuando todos los lugares precedentes están marcados con una ficha del color correspondiente. Así, una conexión desde el antecedente j a la transición k tiene un peso  $b_{jk}$  que puede medir de manera difusa la influencia que tiene el valor de j a la probabilidad de k. Estos pesos pueden tomar valores difusos en el intervalo [-1,1]. La ausencia de conexión o  $b_{jk}=0$  indica que no existe una relación;  $b_{jk} > 0$  señala una correlación positiva;  $b_{jk} < 0$  muestra una correlación negativa

La influencia causal de las variables sobre las probabilidades de los eventos se puede expresar en una matriz B. Si “n” es el número de transiciones ocultas, “m” el número de lugares también ocultos y “r” es el número de transiciones de salida, entonces el elemento  $b(j,k)$  de la matriz  $B_{m \times (n+r)}$  tiene el valor uno cuando la j-ésima variable puede tener un impacto en la ocurrencia del k-ésimo evento y el valor cero, si es de otro modo.

j) Si los valores de las probabilidades de las transiciones son difusos, se deben convertir a valores numéricos para poder ser operados por la red de Petri. Los valores iniciales no difusos de las probabilidades de las transiciones en capas ocultas y en la capa de salida definen un vector de probabilidad de transición inicial  $p(0)_{1 \times (n+r)}$ .

k) Con el vector de probabilidad p(t) en el tiempo t y la matriz B, se puede calcular p(t+Δt), que es el vector de probabilidad de transición para el tiempo t+Δt, elemento por elemento, ejecutando los siguientes pasos:

- Las probabilidades de las transiciones, ocultas y de salida, obtienen valores p(t+Δt) de acuerdo a sus valores anteriores p(t) y al impacto recibido de los lugares que les anteceden. Considerando una transición k, se revisa qué lugares de las capas

ocultas tienen conexiones antecedentes con k. Cada uno de los lugares antecedentes de j tienen una influencia sobre k proporcional al peso  $b_{jk}$ .

- Se calcula  $S_k^+(t)$ , que es la suma de las influencias positivas para el tiempo t sobre la probabilidad de k y  $S_k^-(t)$  que es la suma de las influencias negativas:

$$S_k^+(t) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m (|b_{jk}| + b_{jk}) \quad (8)$$

$$S_k^-(t) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m (|b_{jk}| - b_{jk}) \quad (9)$$

- La probabilidad de la transición k en el tiempo  $t+\Delta t$  se obtiene por medio de la fórmula:  $p_k(t + \Delta t) = p_k(t)^{c_k(t)}$  (10)

$$\text{Donde: } c_k(t) = \frac{1 + \Delta t |S_k^-(t)|}{1 + \Delta t |S_k^+(t)|} \quad (11)$$

- El procedimiento se repite hasta que las probabilidades de todas las transiciones son obtenidas para el tiempo  $t+\Delta t$ .

l) Si todas las precondiciones de un evento tienen fichas, el evento se habilita porque  $p_i > u_i$ , su ocurrencia se determina mediante un procedimiento aleatorio. Si el evento ocurre, sus post-condiciones modifican los valores de las variables, las probabilidades de las transiciones restantes cambiarán, otras precondiciones se pueden satisfacer, se asignarán nuevas marcas, se pueden habilitar nuevos eventos, nuevas transiciones se dispararán, y así seguirá hasta que se dejen de habilitar eventos, la ejecución del modelo parará y entregará como resultados los valores de las variables en la capa de salida.

Este modelo incorpora –como se ha podido observar- varios de los elementos y procedimientos de los enfoques anteriormente vistos. Tiene la ventaja de que permite el enfoque en las variables del sistema, manejar los eventos que surjan dentro del mismo y hace explícitas las relaciones de tipo causal que puedan existir entre los dos elementos mencionados. Además tiene la capacidad de pugnar con parámetros de naturaleza vaga o imprecisa. Al igual que los mapas cognitivos, se pueden unir varios modelos, introduciendo matrices de conexión aumentadas reuniendo así el conocimiento de varios expertos o combinar conocimientos de diferentes dominios.

### Modelos Conceptuales mediante Redes de Petri

En los años 50's y 60's dentro de la investigación de características sociales, previsión tecnológica y planeación prospectiva, aparecieron diferentes técnicas que involucraban la consulta a expertos en el tema, tales como la metodología Delphi, por ejemplo. Este

enfoque, en lugar de buscar modelar el mundo real, se basa en extraer el modelo conceptual que un experto o grupo de expertos tienen acerca del mundo y que les permite resolver problemas reales con mucha eficiencia en su dominio de especialidad.

En 1989 Felipe Lara-Rosano encontró [14] que el sistema de inferencias de Lukasiewicz era el más apto para manejar incertidumbre. Con base a este resultado propuso la construcción de una base de conocimiento difuso fundada en redes de creencias difusas (mapas cognitivos, redes neuronales de impacto causal difuso, etc.) y la lógica de Lukasiewicz en 1992 [4].

Una base de conocimientos es una colección de proposiciones lógicas cuyas relaciones modelan el conocimiento que un experto tiene acerca de un tema específico.

Haciendo una comparación con conceptos como redes causales ponderadas, redes neuronales de impacto causal difuso y redes de Petri que permiten modelar sistemas complejos y sistemas jerárquicos enfocándose en las variables del sistema, eventos y sus relaciones causales, hay situaciones en donde el conocimiento experto se puede expresar mejor en términos de reglas de comportamiento de los elementos del sistema.

El enfoque que se detallará a continuación pretende modelar sistemas complejos como modelos lógicos implementados mediante una red de Petri, donde los modelos resultantes pueden utilizarse para realizar inferencias acerca del sistema estudiado.

#### *Redes de Creencias Difusas*

Estas redes son grafos acíclicos dirigidos pesados, donde cada nodo representa una proposición, y los arcos expresan y cuantifican -de una manera difusa- las dependencias lógicas de los consecuentes, en términos de sus antecedentes inmediatos, de acuerdo a un conocimiento actual.

Así, si los nodos representan las proposiciones  $q_1, q_2, \dots, q_n$ , entonces cada proposición  $q_i$  dibuja flechas desde un subconjunto  $S_i$  de proposiciones que son los antecedentes lógicos directos de  $q_i$ . Cada flecha tiene un peso que expresa la creencia condicionada a  $q_i$  dada la creencia de su correspondiente predecesor lógico.

La dependencia lógica difusa entre posibles condiciones satisfechas y un consecuente es modelada por una regla de producción difusa, cuyos componentes son:

- a) Un consecuente cuyo valor de creencia se vaya a estimar.
- b) Los antecedentes condicionales y sus valores de creencia.
- c) La combinación lógica ponderada de los antecedentes generalmente se expresa en una forma normalizada como una disyunción de conjunciones ponderadas.

d) La implicación que determina el valor de creencia del consecuente dada la combinación lógica ponderada de las condiciones, donde el valor de creencia del consecuente es una función difusa de los valores de creencia de sus antecedentes.

#### *Conjunciones difusas ponderadas y Disyunciones en una Regla Condicional.*

Las proposiciones antecedentes condicionales pueden ser conjuntivamente o disyuntivamente combinadas de forma ponderada para determinar otra proposición conocida como consecuente.

Cuando el antecedente lógico de un consecuente dado es una conjunción o disyunción de dos o más premisas, puede darse el caso de que la importancia de las premisas no sea la misma al momento de obtener el resultado. Para estos casos, las premisas se ponderan de acuerdo a su importancia. La ponderación se realiza mediante la asignación de pesos, éstos son números reales dentro del intervalo  $[0,1]$  y se normalizan de tal forma que el resultado de su sumatoria sea igual a uno.

$$w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1 \quad (12)$$

Dadas las condiciones ponderadas  $a$ ,  $b$  con sus correspondientes pesos  $w_a$ ,  $w_b$  y sus respectivos valores de creencia  $v(a)$ ,  $v(b)$ , el valor de creencia de su conjunción es la suma ponderada de los valores de las condiciones.

De igual forma, los valores de creencia de la disyunción ponderada serán el producto del peso  $w$  por el valor de creencia  $v$  que sea el máximo entre todas condiciones que haya en la disyunción.

La conjunción o disyunción ponderada puede ser substituida por una sola condición compuesta, cuyo valor de creencia es el valor global de creencia que se calcula como se indicó anteriormente.

#### *Conjuntos Condicionales Suficientes*

Suponiendo un conjunto de  $n$  premisas  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , cada una con su propio valor de creencia  $v(x_i)$   $i=1,2,\dots,n$  que se encuentran asociadas de una manera conjuntiva para llegar a la conclusión  $y$ , se llamará  $(x_i/y)$  al valor de suficiencia de las premisas  $x_i$  sobre  $y$ . La conjunción  $(x_i \& x_j \& \dots)$  de dos o más premisas tendrá un valor específico de suficiencia  $s(x_i \& x_j \dots / y)$  sobre una conclusión  $y$  de acuerdo a la suficiencia sinérgica del conjunto, esto es, su grado de pertenencia al conjunto difuso de condiciones suficientes para  $y$ .

Así,  $s(x_i \& x_j \dots / y)$  será no separable en términos de los valores individuales  $s(x_i/y)$ ,  $s(x_j/y)$ , ... debido al efecto sinérgico de la conjunción sobre  $y$ . La sinergia será más pronunciada en ciertos conjuntos conjuntivos de premisas que en otros. Estos privilegiados conjuntos son

los llamados conjuntos condicionales suficientes y su identificación es cuestión de experiencia y conocimiento del campo tratado.

### *Redes de Petri Difusas Ponderadas Conceptuales*

Existen argumentos a favor de modelar reglas condicionales difusas a través de Redes de Petri Difusas [1, 2]. Se considera que el sistema lógico basado en conocimiento difuso a ser modelado se describe mediante redes de creencias difusas ponderadas con reglas condicionales y el modelado del sistema se realiza mapeando estas reglas en Redes de Petri Difusas Ponderadas Conceptuales.

Una Red de Petri Difusa Ponderada Conceptual (CWFPN) es una tupla formada por 7 elementos

$$\text{CWFPN} = [P, T, I, O, \alpha, \Delta, W] \quad (13)$$

Donde:

$P = [p_1, p_2, \dots, p_n]$  conjunto de lugares asociados con proposiciones inciertas.

$T = [t_1, t_2, \dots, t_n]$  conjunto de transiciones asociado con implicaciones difusas.

$I(O): T \rightarrow P$  función que mapea las transiciones a conjuntos de lugares.

$\alpha: P \rightarrow [0,1]$  función de asociación de certeza que asigna un valor real entre cero y uno a cada lugar.

$\Delta: P \rightarrow [0,1]$  función de asociación del umbral de certeza que asigna un valor real  $\lambda_i$ , que va de cero a uno, a cada lugar  $i$ ; es decir  $\Delta = [\lambda_1, \dots, \lambda_i, \dots, \lambda_m]$ .

Para cualquier transición  $t$ , si los factores de certeza  $\alpha$  asociados con las fichas de todos sus lugares de entrada, son todos mayores que sus umbrales  $\lambda$ , entonces la transición es habilitada y dispara instantáneamente.

$W_i: I \rightarrow [-1,1]$  conjunto de pesos de entradas.

$W_o: O \rightarrow [-1,1]$  conjunto de pesos de salida.

Ambos conjuntos asignan pesos a todos los arcos de la red.

$W = W_i \cup W_o$ ,  $w_{ij} \in W_i$  indica qué tanto impacta la certeza de un lugar a la certeza de la siguiente transición conectada por  $w_{ij}$ . Un valor positivo indica un impacto positivo y un valor negativo indica un impacto negativo.

Para una transición  $t$ , se asume que  $I(t) = [p_1, p_2, \dots, p_n]$ . Los pesos de entrada correspondientes a estos lugares son:  $w_{11}, w_{12}, \dots, w_{1n}$ . Es razonable hacer que  $w_{11} + w_{12} + \dots + w_{1n} = 1$ , esto es pensando en que todas estas condiciones resultan en un solo consecuente, de igual forma la suma de sus impactos es igual a uno.

Así,  $w_{0j} \in W_0$  indica el valor de certeza de la implicación, es decir, qué tanto impacta su valor de certeza a la misma de sus lugares de salida, si la transición se llega a disparar.

Para mapear reglas condicionales difusas ponderadas a CWFPN, las proposiciones se convierten a lugares; la función de implicación lógica "ENTONCES" entre antecedentes y consecuentes, se pasa como transición; el impacto de los valores de creencia de los antecedentes sobre los valores de creencia de los consecuentes se mapea como arcos; los pesos del impacto de las proposiciones antecedentes y el factor de certeza de las reglas, se transforma en los pesos de los arcos de entrada y de salida de la transición, respectivamente.

De esta forma el modelo integra el impacto de cada condición ponderada en el disparo de las transiciones y el valor de creencia del consecuente.

#### *Inferencia usando Redes de Petri Difusas Ponderadas Conceptuales*

Una CWFPN es un motor de inferencias, el cual se activa disparando transiciones. Una transición  $t$  dispara instantáneamente en cuanto es habilitada.  $t$  es habilitada si todos sus lugares de entrada están marcados con factores de certeza mayores a su umbral.

$\forall t \in T$ ,  $t$  se habilita y dispara si  $\forall p_{ij} \in I(t)$ , su valor de certeza  $\alpha(p_{ij}) \geq \lambda_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ . (14)

Después de disparar  $t$ , se quita la marca de  $p_{ij}$  y se coloca una ficha, o marca, con un factor de certeza  $w_{0k} [\sum (\alpha(p_{ij})w_{ij})]$  en cada uno de los lugares salida  $p_{ok}$ ,  $k=1, 2, \dots, m$  [2]. Si un lugar  $p_{ok}$  tiene más de una transición de entrada y más de una de sus transiciones de entrada dispara, entonces el nuevo factor de certeza de  $p_{ok}$  es la nueva marca producida por la transición con el máximo peso de salida.

#### *Algoritmo de Razonamiento Difuso*

Para hacer la descripción del algoritmo más clara se debe tomar en cuenta lo siguiente:

Con la notación %p se designa el conjunto de lugares con transiciones de entrada y con p% se identifica el conjunto de lugares que tienen transiciones de salida.

P será el conjunto de lugares y se dividirá en tres partes:  $P_I, P_{int}$  y  $P_0$ , de tal modo que:

$$P = P_I \cup P_{int} \cup P_0 \quad (15)$$



$$P_I \cap P_{int} \cap P_O = 0 \quad (16)$$

$$P_I = \{p \in P \mid \%p = 0\} \quad (17)$$

$$P_{int} = \{p \in P \mid \%p \neq 0 \text{ y } p\% \neq 0\} \quad (18)$$

$$P_O = \{p \in P \mid p\% = 0\} \quad (19)$$

Por lo que  $p \in P_I$  es una premisa inicial,  $p \in P_{int}$  es una proposición oculta y  $p \in P_O$  es una conclusión.

Paso 1. Se coloca una marca sobre la premisa inicial  $P_I$  y se define la transición inicial  $T_t$ .

Paso 2. Se encuentran qué transiciones  $T_e$  se han habilitado a partir de  $T_t$ . Esto es donde  $\forall p_{ij} \in P_I$ , el valor de certeza  $\alpha(p_{ij}) \geq \lambda_j$ ,  $j=1, 2, \dots, n$ .

Paso 3. Se disparan todas las transiciones habilitadas  $T_e$  y se calculan los nuevos factores de certeza producidos por las transiciones disparadas. Esto se hace siguiendo:

$$\forall t \in T, t \text{ se habilita y dispara si } \forall p_{ij} \in I(t), \text{ su valor de certeza } \alpha(p_{ij}) \geq \lambda_j, j=1, 2, \dots, n. \quad (20)$$

Paso 4. Se hacen las transmisiones de marcas. Se toma una marca de los lugares de entrada de una transición disparada. Asumiendo que  $p$  es uno de los lugares de salida de una transición disparada:

Paso 4.1 Si  $|\%p|=1$ , entonces se coloca una marca sobre  $p$  con un factor de certeza producido por su transición de entrada;

Paso 4.2 Si  $|\%p|>1$  y más de una de sus transiciones de entrada disparó, entonces se escoge a la transición con el máximo peso de salida, y se coloca una marca sobre  $p$  con un factor de certeza producido por la transición escogida.

Paso 5. Se efectúa  $T=T-T_e$ , y se definen las siguientes transiciones  $T_t$  y los lugares marcados  $P_t$ .

Paso 6. Se regresa al paso 2 y se repite hasta que  $T_e = 0$ .

## 2.1 Conclusión

Se han revisado varios enfoques considerados los más novedosos y con mayor éxito en los últimos años. Debido a la naturaleza de los procesos que se pretenden modelar es posible que sea necesario utilizar más de uno de los enfoques aquí revisados.

## **CAPÍTULO 2: ELECCIÓN DE UN MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Introducción**

La gama de problemas que se observa en la dinámica económica es muy amplia, por esta razón no se puede esperar que una metodología única haga frente a todos. Inicialmente se determinará qué problemas si son factibles de atacar y qué características los identifican, además de cómo la elección de un marco teórico es determinante para la selección del problema a resolver. Todo lo anterior se realizará paso a paso y con la ayuda de ejemplos para una mejor comprensión.

### **2.2 Metodología**

En principio se tiene a los sistemas socioeconómicos como sistemas intencionales [16] en los cuales se establecen objetivos, tanto para el sistema estudiado como para los sistemas que engloba (subsistemas) y el sistema en que se encuentra inmerso (supra sistema).

Lo primero que se debe hacer es una clara definición del problema a resolver, esto dará las pautas para ir moldeando categorías, conceptos y definiciones que serán útiles para describir el problema y posteriormente modelarlo.

Los pasos a seguir para definir el problema son:

- Seleccionar la problemática.
- Analizar y seleccionar el marco teórico del problema.
- Definir el problema con base en el marco teórico.
- Construir modelos sistémicos conceptuales.

### **2.3 Selección de la problemática**

Para acometer un problema es muy importante identificar el tipo al que pertenece, ya que de ésta dependerá la elección de la herramienta apropiada que facilite su solución.

La metodología que se presenta en este trabajo está adscrita al marco metodológico de la Investigación Analítica-Sintética, la cual se especializa en la solución de problemas de índole supralocal con alta complejidad. Para resolver estos problemas se utilizarán herramientas como el microanálisis sintético y las ciencias de la complejidad [20].

#### ***Complejidad***

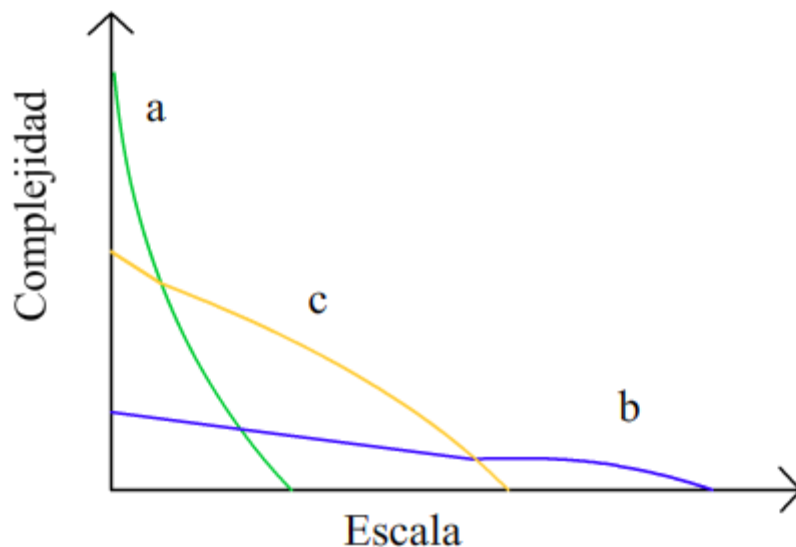
Las ciencias de la complejidad son relativamente nuevas, por lo que en muchos casos aparece la duda de si un problema determinado es complejo o no.

La palabra complejo se deriva del latín "*plexus*", vocablo que se utilizaba para designar algo entretrejado o algo difícil de separar.

En cuestiones de ciencias, este entretrejo aparece cuando las interacciones entre los elementos de un sistema provocan que sea muy difícil determinar el estado en que se encontrará éste en un futuro.

Un ejemplo muy claro de esto es el problema de los tres cuerpos [17] que consiste en determinar para cualquier instante de tiempo las posiciones y velocidades de tres masas sometidas a sus campos gravitacionales, dando como punto de partida las condiciones iniciales del sistema. Este problema está resuelto para dos cuerpos gracias a Isaac Newton y sus leyes gravitacionales, sin embargo, al agregar un cuerpo más, las interacciones de sus campos hacen imposible obtener una solución por los métodos tradicionales, como sería separar y calcular las interacciones del cuerpo a con el cuerpo b, del cuerpo a con el c y del b con el c para así conjuntar estos cálculos y obtener una respuesta.

Otra forma de definir la complejidad de un sistema es ubicarlo con el perfil de complejidad [18], el cual consiste en dos ejes. En uno de ellos (el de las ordenadas), se coloca la complejidad del sistema tomando como medida la cantidad de información requerida para su descripción. Sobre el otro eje (abscisas), se coloca la escala a la que se está estudiando el sistema y se piensa qué pasa con la complejidad del sistema si se aumenta o se disminuye la escala. De esta forma se obtiene una gráfica que sirve como orientación sobre la complejidad del problema. A continuación se muestra una gráfica como ejemplo.



En la gráfica se observa el perfil de tres sistemas. Para el sistema “a” se puede pensar en un gas que a una escala microscópica requiere de una gran cantidad de información para ser descrito y conforme aumenta la escala se requiere de menos información para el mismo fin. El sistema “b” puede ejemplificarse con un cinturón de asteroides, como el existente entre las órbitas de Marte y Júpiter; a escalas microscópicas tienen cierta complejidad debido a las fuerzas físicas que hay

entre sus partículas, pero debido a que se encuentran en el espacio exterior conforme se va aumentando la escala su complejidad se va reduciendo poco a poco hasta que, para una determinada escala, dejan de ser percibidos. Finalmente como sistema “c” se tiene una célula, donde en escalas pequeñas sus elementos tienen una gran complejidad, pero conforme se aumenta la escala se agrupan esos elementos básicos en unos más grandes, cuya interacción va teniendo menor complejidad hasta que se llega a escalas donde no se aprecia la existencia del equipo. Recuérdese el ejemplo del Juego de la Vida [19] donde la información de la célula sólo es un valor booleano verdadero si la célula está presente, cero si no está.

### ***Problemática a tratar***

La problemática que interesa resolver es la de modelar y simular la interacción de aquellos elementos que son fundamentales en el desarrollo de la economía de un país o región.

### ***Justificación***

La dinámica económica ha acompañado al ser humano desde su aparición en este mundo. En muchas ocasiones se define a la economía como la ciencia que estudia la escasez y el hombre ha tenido que hacer frente a ésta desde que vivía en comunidades nómadas donde tenían que hacer distribución de la comida que lograba conseguir.

Posteriormente, con el desarrollo de la agricultura, la dinámica de la distribución de recursos fue haciéndose cada más compleja, incluyendo elementos como el clima y la interacción con otros pueblos. Poco a poco las sociedades humanas fueron conectándose más y más haciendo de la economía un fenómeno altamente complejo.

Los sistemas económicos humanos han sufrido varios cambios, como la revolución industrial, fenómeno que modificó la dinámica de tal forma que las sociedades tuvieron que cambiar también, pasando a ser denominadas sociedades capitalistas. Aunque han existidos algunos factores que alteraran la forma en cómo los países interactúan (como el surgimiento de las telecomunicaciones) y aun cuando ha habido intentos de cambiar de paradigma económico (como lo fue el comunismo) la verdad es que el capitalismo ha mantenido su vigencia.

Desde hace mucho tiempo el ser humano, al percatarse de la existencia de fenómenos económicos, ha tratado de entender la dinámica que rige los movimientos de los recursos, sin embargo la época que se analizará en el presente trabajo es la posterior a la aparición del capitalismo, posterior también a la revolución industrial. La importancia de esta época reside en que Inglaterra, al ser cuna del cambio tecnológico, empezó a tener un desarrollo económico muy favorable, hecho que sus países vecinos notaron inmediatamente y decidieron no rezagarse, por lo que estudiosos europeos iniciaron la generación de diversas teorías sobre aquellos elementos fundamentales en el crecimiento económico de una nación.

De los primeros intentos por explicar el desarrollo económico se encuentra el Sistema Nacional de Política Económica de Fiedrich List en 1841 [23] que pretendía esclarecer el hecho de que Inglaterra se estaba adelantando a Alemania y a otras naciones en desarrollo de la época. Para lograr solucionar esa situación proponía una serie de políticas cuyo fin era acelerar o hacer posible la industrialización y el crecimiento económico de su país. Muchas de estas políticas hacían énfasis en el aprendizaje y aplicación de nuevas tecnologías.

En su momento este enfoque no tuvo mucha aceptación debido a ciertos matices racistas y colonialistas contenidos en el texto. Sin embargo, gracias a otros economistas que retomaron estas ideas, Alemania desarrolló uno de los mejores sistemas de educación y entrenamiento técnico.

En el siglo XX, en las décadas de los 70's y 80's, empezó a acumularse evidencia de que el desarrollo económico estaba influenciado por muchos otros factores, además de la investigación y desarrollo (I&D). Los análisis reportaban que la organización del trabajo en las empresas tenía una fuerte relación con su desempeño en el mercado [24]. Se podía observar que muchas mejoras a servicios y productos ofrecidos eran originados por la interacción con el mercado y empresas relacionadas, como los proveedores y sub-contratistas. También era evidente que la relación con el sistema tecnológico-científico profesional era una parte importante.

Ejemplos de lo mencionado son el éxito obtenido por Japón y Corea del Sur al alcanzar a las potencias mundiales, y en algunos casos rebasarlos, en los aspectos tecnológicos y económicos. Unos años atrás el éxito japonés consistía en copiar, imitar e importar tecnología extranjera. Existía un gran déficit en las transacciones de importación contra exportación y en Estados Unidos de América existía un superávit. Al poco tiempo los productos y procesos japoneses superaron a los americanos y europeos en cada vez más industrias. Se encontró que existía una diferencia en la tasa de recursos que Japón dedicaba a la I&D industrial, pues ésta superaba a la tasa que destinaba EUA para el mismo fin. Aún así continuaba sin explicarse cómo estas diferencias llevaban a mejoras en calidad de productos y procesos y la rápida difusión de tecnologías, como la robótica.

En contraste con esta situación se tiene el colapso de las economías socialistas de Europa del Este, donde la principal diferencia se observa con las políticas japonesas es que la mayoría de la I&D estaba dedicada al campo militar y espacial. Ahora se sabe que el deseo por mantener la paz con los EUA en la carrera armamentista llevó a que casi tres cuartas partes de los recursos tan masivos que tenía I&D soviética eran absorbidos por la investigación militar y espacial. Esto significaba cerca del 3% de su PIB contra sólo el 1% para I&D civil, una tasa menor que la mayoría de los países de Europa occidental y muchísimo menor con respecto a la tasa japonesa que era de 2.7%. Lo anterior puede constatar en la siguiente tabla [22].

**TABLA 1. Estimado del gasto en investigación y desarrollo como una fracción del PIB entre 1934 y 1983**

	<b>1934</b>	<b>1967</b>	<b>1983</b>	<b>1983 I&amp;D civil solamente</b>
<b>EUA</b>	0.6	3.1	2.7	2.0
<b>Países Europeos</b>	0.2	1.2	2.1	1.8
<b>Japón</b>	0.1	1.0	2.7	2.7
<b>Unión Soviética</b>	0.3	3.2	3.6	1.0

Otros elementos que afectaron el desarrollo económico se observan de la comparación entre los países de América Latina y los países del Este de Asia, que puede verse focalizado en Brasil y Corea del Sur, ambos países recientemente industrializados en los años 80's. Los países asiáticos empezaron su industrialización desde un nivel más bajo en la década de los 50's, de hecho en los años entre 1960 y 1980 ambos bloques eran considerados un solo grupo de países en industrialización con un rápido crecimiento. En la década de los 80's comenzó a emerger un gran contraste: el PIB de los países asiáticos crecía a un ritmo anual de alrededor del 8% y en la mayoría de los países latinoamericanos su tasa apenas alcanzaba el 2%.

Se pueden observar marcadas diferencias que podrían haber dado origen a este contraste. Muestra de esto fue la adopción de algunos países asiáticos de cambios sociales radicales como reformas sobre la tierra y educación universal, mientras que en países latinoamericanos éstos se dieron con menor fuerza o en menor grado. Así los cambios estructurales y tecnológicos fueron mejor asimilados en los países asiáticos que en los latinoamericanos. El siguiente cuadro comparativo entre Brasil y Corea del Sur muestra los elementos que participan en el desarrollo económico [22].

**TABLA 2. INDICADORES DE CAPACIDAD TÉCNICA EN BRASIL Y COREA DEL SUR**

<b>Indicadores de capacidad técnica</b>	<b>Brasil</b>	<b>Corea del Sur</b>
Porcentaje de los grupos de edades en el nivel de educación terciario.	11 (1985)	32 (1985)
Estudiantes de ingeniería como porcentaje de la población	0.13 (1985)	0.54 (1985)
I&D como un porcentaje del PIB	0.7 (1987)	2.1 (1989)
I&D industrial como un porcentaje del total de I&D	30 (1988)	65 (1987)
Robots por millón en el empleo	52 (1987)	1060 (1987)
Despacho asistido por computadora (CAD) por millón en el empleo	422	1437 (1986)
NCMT por millón en el empleo	2298 (1987)	5176 (1985)
Tasa de crecimiento de electrónicos	8% (1983-1987)	21% (1985-1990)
Líneas telefónicas por cada ciento (1989)	6	25
Ventas per copia de equipo de telecomunicaciones (1989)	810	877
Patentes (EU) (1989)	36	159

Pese a la imposibilidad para determinar los factores que intervienen en el proceso del desarrollo económico, empezó a hacerse patente un cambio sin duda importante en la dinámica de las economías. La aparición de empresas transnacionales y el avance en las telecomunicaciones han sido dos factores que han apoyado el rápido avance de la globalización y aunque el desarrollo de las telecomunicaciones representa un factor favorable para el crecimiento económico de diversos países, la aparición de empresas transnacionales representa un reto mayor a las economías en desarrollo. Si a esto se aumenta la proliferación de diversos tratados para el libre comercio entre las naciones, se tiene un gran reto al que deben hacer frente, sobre todo aquellas empresas con una corta trayectoria en las economías subdesarrolladas. Esta combinación ha generado lo que se conoce como economías inter-relacionadas, fenómeno tan fuerte que incluso parece desvanecer fronteras nacionales y relegar a los burócratas, políticos y militares, a meras industrias en decaimiento [22].

A pesar de todo, la globalización tiene cosas buenas, pues las multinacionales traen variedad y diversidad a las zonas donde llegan. Muy recientemente han surgido grandes inversiones por parte de estas empresas en lugares fuera de su país natal, dando un empuje a la economía del país donde llegan, asimismo promueven la difusión de procesos y tecnologías novedosas. Debido al alcance que tiene la organización de estándares, se hace necesaria su implementación, logrando así homogeneizar algunos productos y procesos que permiten la participación de otras empresas en el mercado mundial.

De lo anterior surgen las siguientes preguntas: ¿Qué patrones de comportamiento debe adoptar un país en desarrollo con respecto a las empresas transnacionales para poder obtener beneficios? ¿Qué elementos influyen para generar el primer o segundo escenario descritos?

Como ya se ha mencionado, a lo largo de los años el ser humano ha intentado explicar el comportamiento de la dinámica económica, misma que es la resultante de una gran interacción entre diversos elementos que componen a una nación. Con el avance tecnológico las economías de ciertos países se han visto mezcladas de tal forma que la definición entre un sistema económico y otro se ha vuelto difuso. Es precisamente en esta enorme interacción de elementos donde se tiene que las ciencias de la complejidad y el poder de la economía computacional podrían ser de gran ayuda para aprender más sobre aquellos elementos que participan en la definición del desarrollo económico de una región.

## **2.4 Análisis y Selección del Marco Teórico del Problema**

En esta fase se busca encontrar una o más teorías que permitan describir, de forma consistente, el fenómeno que se está estudiando. Una vez encontrada una o más teorías que cumplan con el objetivo se deberán analizar y elegir aquellas que más se adecuen, de ser necesario se propondrán cambios o se anexarán elementos para complementarlas.

Esta etapa consta de los siguientes pasos [20]:

- Revisión del estado del arte
- Análisis y evaluación de las teorías
- Crítica
- De ser necesario:
  - Proponer una conceptualización propia
  - Selección de las teorías a aplicarse

### ***Revisión del estado del arte***

Como en una investigación lo que se busca es ampliar el conocimiento, es muy importante que el presente trabajo se encuentre fundamentado en las teorías localizadas en la frontera del



conocimiento, de esta forma este estudio tendrá bases sólidas, previamente evaluadas y aceptadas, y cualquier aporte impulsará esa frontera hacia adelante.

A tal efecto, se debe llevar a cabo una investigación en bibliografías y referencias -lo más actuales posibles- sobre conceptos y descripciones de la realidad sobre la que se pretende resolver un problema o realizar algún estudio.

#### Estado del arte en materia del desarrollo económico.

Debido al fracaso obtenido con conceptos anteriores como el de la inversión industrial, los países han buscado nuevos paradigmas en los cuales fundar sus enfoques; uno de los que ha tenido más éxito es el de economía de mercado. Análisis basados en este concepto realizados sobre países de la OECD y del Este y Sudeste de Asia, han reportado resultados con información significativa.

De estos resultados han surgido nuevos paradigmas que ocupa un lugar primordial en las ideas sobre el desarrollo de las economías. De entre éstos se pueden encontrar dos con un enorme peso, debido a la cantidad de adeptos que han generado, y que han servido como fundamento para la creación de dos teorías que, en buena medida, comparten tendencias y categorías conceptuales, pero se diferencian en el enfoque que dan a las interacciones de sus elementos. Se tiene entonces:

#### *Sistemas Nacionales de Innovación*

Aunque Lundvall [25] es el primero en utilizar este término en 1992, en realidad es una idea que viene desde 1841, concebida por List [23]. El objetivo principal de estos sistemas es lograr el avance del desarrollo económico mediante el mantenimiento y la generación de innovaciones.

El significado de innovación es: la acción o efecto de mudar o alterar algo, introduciendo novedades. De aquí se desprende el hecho de que bajo esta teoría la acción de alterar puede ir dirigida a tres rubros:

#### Procesos

En muchas actividades que realizan las empresas dentro de una nación toman lugar procesos de diversa índole (biológicos, químicos, físicos, etc.) que tiene como objetivo transformar un elemento en otro. Estos procesos tienen la característica de que necesitan de una materia prima que alterar y dentro de la que se encuentran los reactivos necesarios para que ocurra dicha alteración. Al final del fenómeno se tienen nuevos elementos y éstos pueden separarse en desperdicios y productos. Dentro de los desperdicios se tienen todos aquellos productos del proceso que no son de interés, principalmente por carecer de valor en el mercado. Como productos se catalogan aquellas sustancias que se tenía como objetivo conseguir. Por lo general los productos son utilizados a su vez en otros procesos o como productos finales para su introducción al mercado.

Existe una gran variedad de procesos que difieren en su eficiencia, en virtud de la cantidad y/o tipo de materias primas que necesitan. Algunas materias primas son más fáciles o más difíciles de conseguir y también varía su precio en el mercado. Bajo el mismo concepto también se mide la cantidad de productos útiles y residuos que se obtienen. Un proceso será más eficiente que otro si con la misma cantidad de materias primas o con materias primas similares, obtiene una mayor cantidad de producto o un menor índice de desperdicio. Otro factor a considerar es el tiempo que tarda en realizarse el proceso.

De lo anterior se deriva la importancia de que la industria nacional cuente con los mejores procesos, para poder generar más productos con menor consumo de materias primas y menor emisión de residuos.

### Tecnología

La tecnología se refiere al conjunto de herramientas que la industria utiliza para la realización de sus actividades. El propósito con el que se crean estas herramientas es realizar los trabajos en menores tiempos y con menor esfuerzo. La importancia de la tecnología en la dinámica económica se hizo patente con la revolución industrial dónde la aparición de diversas herramientas capaces de realizar trabajos en menores tiempos que con recursos humanos, logró cambiar el orden social establecido. Desde entonces el desarrollar nuevas tecnologías y aprender su utilización ha sido un factor importante en el crecimiento de los países para lograr la generación de productos y así poder participar en el mercado.

Las tecnologías se evalúan por varios conceptos:

**Costo:** las herramientas son producidas por el hombre, por lo que es necesario realizar procesos para fabricarlas. Tanto las materias primas como los procesos, tienen un precio que debe cubrirse, mientras menor sea el costo de ambos menor será el costo total de producción.

**Vida útil:** las herramientas, al ser elementos físicos, son propensas al desgaste, por lo que después de cierto tiempo éste es tal que ésta no puede volver a utilizarse. Mientras más tiempo dure una herramienta menor será la necesidad de reemplazarla con una nueva. Es necesario recordar que adquirir una herramienta nueva implica un costo y de no renovarse se tendrá que dejar de realizar la actividad en la que se utilizaba.

**Costo de mantenimiento:** como ya se estipuló, las herramientas sufren un desgaste que termina con su vida, sin embargo existen procesos capaces de alargar su utilidad. Al igual que los procesos y materias de fabricación, el mantenimiento también tiene un costo.

Eficacia: este valor hace referencia a qué tan bien cumple con el objetivo para el que fue construido. Por ejemplo un hacha es más eficaz que otra si es capaz de cortar con más facilidad un cierto material.

Eficiencia: se refiere al tiempo que reduce una herramienta en la realización de cierto trabajo. Así pues un avión es más eficiente que otro si es capaz de recorrer la misma distancia en menor tiempo.

Para identificar la tecnología más adecuada a una actividad es necesario ponderar todos los conceptos mencionados y relacionarlos con el objetivo deseado.

### Organización

La forma de organización de una empresa para cumplir con las actividades que necesita realizar puede ser muy variada. Algunas formas de organización o dinámicas de organización pueden favorecer o perjudicar el cumplimiento de los objetivos de la empresa.

En los recursos humanos de las empresas se mantiene una gran cantidad de información sobre la forma de realizar tareas, conocimientos sobre la forma de emplear tecnologías y como manipular procesos. Estos conocimientos se van difundiendo por el contacto que tengan los trabajadores de una empresa con los de otra. Otra capacidad que tiene los recursos humanos, y que casi no es tomada en cuenta, es la de difundir esta misma información al interior de la empresa, dando lugar a retroalimentaciones.

Dentro de las empresas las innovaciones antes mencionadas son sólo un tipo de cambio que puede y debe darse. Pero existe otro tipo, que es el objetivo de esta teoría, y se refiere a las innovaciones en producción, esto es generar nuevas configuraciones sobre los productos, sea los ya existentes -para responder de mejor manera las exigencias del mercado- o la creación de productos completamente nuevos y revolucionarios, originando diferentes nichos dentro de los mercados ya existentes.

En ambos casos la innovación puede darse de dos formas [22]:

#### Innovaciones incrementales:

Estas innovaciones son muy importantes pues mantendrán vigentes a las empresas dentro de los mercados y pueden darse sobre cualquiera de los elementos antes mencionados: procesos, tecnologías, organización empresarial o productos. Consisten en pequeños cambios sobre lo ya existente con la intención de mejorar su desempeño. Por ejemplo, en los procesos se podría pensar en descubrir que un ligero cambio en la temperatura a la que ocurre un proceso reduce la emisión de desperdicios y aumenta la cantidad de producto obtenido. Sobre la tecnología se puede pensar en la implementación de un nuevo grabado en los neumáticos para mejorar la adherencia del vehículo al pavimento

bajo lluvia. En el caso de la organización se tiene el ejemplo de la introducción de radios de comunicación para estar en mejor contacto entre los ejecutivos. Finalmente para los productos se recuerda la inclusión de carcasas de color en los equipos de cómputo portátiles.

Innovaciones radicales:

Este tipo de innovación es todavía más importante, pues permite colocar a la empresa en una posición muy favorable en el mercado. Surgen de la reconfiguración de elementos ya existentes, por ejemplo la investigación sobre las reacciones químicas ha llevado al descubrimiento de mejores materiales, como el nylon. Las nuevas tecnologías como los micro-transistores originaron un gran cambio con el surgimiento de las computadoras personales. Fenómenos de reorganización social han dado origen al software libre. Todo lo antes mencionado ha dado lugar a la aparición de nuevas industrias y/o empresas que mejoran la actividad económica de una región.

Así, y para efecto del presente trabajo, el análisis se ha realizado [22, 23, 25, 26] sobre cómo favorecer la aparición de las innovaciones y se ha focalizado la atención en tres componentes de la economía nacional:

Empresas

Son las encargadas de mantener activa la economía; de sus actividades se obtienen bienes y servicios para satisfacer el mercado interno y externo. La forma que tienen las empresas para favorecer las innovaciones, en su mayoría, es incremental y puede ser sobre cualquiera de las áreas mencionadas, dándole prioridad a la innovación sobre los productos que comercializa. Se recomienda una amplia interacción entre las empresas, por ejemplo creando redes de proveedores-clientes y estableciendo vínculos con empresas del mismo ramo. Esto incrementará los flujos de información al interior de las empresas, generando innovaciones en las distintas áreas.

Educación, investigación y desarrollo

Los sistemas educativos son los encargados de brindar preparación y capacitación a los recursos humanos que pronto pasarán a formar parte de las empresas. De dicha capacitación dependen muchos factores que influirán en la vida de las empresas, es por esta razón que ambos actores -empresas y sistemas educativos- deben tener una gran comunicación. Así, las empresas ofrecerán empleo a los recién egresados de las instituciones educativas y éstas formarán al personal con las capacidades y habilidades que la empresa necesita.

En el área de investigación y desarrollo es donde ocurren con mayor frecuencia las innovaciones radicales, por lo que son actividades imprescindibles dentro de la economía

nacional. También debe existir comunicación por parte de éstas con las empresas pues así estarán mejor enfocadas a resolver problemas que obstaculizan en desarrollo empresarial.

#### Gobierno

Este elemento es de suma importancia pues, por un lado, debe favorecer las actividades de las empresas tomando acciones para que éstas trabajen dentro de la nación de una forma más sencilla y también debe fomentar la aparición de sistemas educativos y centros de investigación y desarrollo. Por otro lado debe favorecer la interacción entre las empresas, los sistemas educativos y los centros de I&D.

Esta teoría fundamenta el avance del crecimiento económico de un país en las innovaciones y establece las vías que dan origen a las mismas, así como varios aspectos que deben ser tomados en cuenta, tales como la organización de las empresas, los procesos y tecnologías. A pesar de que recientemente ha sido atacado por la globalización -fenómeno que cuestiona el concepto de nación- los partidarios de esta teoría han tenido que hacer un cambio muy pequeño donde el término nación es reemplazado por región, manteniéndose de esta forma vigente.

#### *Competitividad sistémica*

Durante mucho tiempo la medida de crecimiento de un país se fundamentó en el volumen de producción de sus empresas. Conforme fueron avanzando la técnica y los conocimientos, en los años 60's, comenzó a apreciarse que esta forma de medir era, hasta cierto punto, anticuada pues elementos importantes como el progreso tecnológico y la sustentabilidad de la producción no estaban integrados. Este hecho dio origen a la aparición de nuevos conceptos que fueran capaces de englobar a todos los elementos importantes en el crecimiento de una economía. De esta manera, durante los años 80's tiene una gran aceptación el concepto de competitividad.

En sus primeras apariciones [27, 28] la competitividad es vista como una habilidad de la nación o de una economía para entrar en competencia con la economía internacional, generando incrementos en el nivel de vida de su población. Ahora bien, una habilidad no es algo que pueda cuantificarse por lo que se debe proponer un marco conceptual para poder analizarla.

De lo anterior surgen dos enfoques de análisis: el cuantitativo y el estructuralista. El primero de ellos a su vez puede dividirse, de acuerdo al nivel que comprenda, en: regional, sectorial y de firma, siendo el nivel regional el más estudiado. Las mediciones pueden realizarse sobre varias de las dimensiones que se comprenden en la competitividad: desarrollo, sustentabilidad y realización internacional. El enfoque estructuralista deja de lado la evaluación y se centra en el análisis de las estructuras económicas que permiten lograr un mejor desempeño.

Como se pretende modelar la dinámica económica se utilizará el segundo enfoque, dentro del que se encuentra la Competitividad Sistémica de Esser et al [21]. Esta teoría ve a la economía como un sistema que consta de cuatro subsistemas, a los que denomina niveles, que engloban diferentes estructuras de la economía, pero dependiendo del nivel en el que se ubique deberá cumplir con

actividades diferentes. Así pues se tienen los siguientes niveles y las actividades que se espera que cumpla cada uno:

#### **Meta-nivel:**

Factores socioculturales y valores compartidos: elementos fundamentales en la determinación de una sociedad para estimular o frenar el desarrollo de dinámicas emprendedoras.

Patrones básicos de organización político-económica: patrones básicos competitivos y de miras al exterior favorecen la competitividad a nivel internacional, mientras que un patrón básico orientado al clientelismo y la protección no lo hace.

Capacidad estratégica y política de los actores sociales: la competitividad internacional sólo emerge cuando la sociedad tiene éxito al establecer un consenso sólido sobre sus metas y en el desarrollo de estrategias a mediano plazo.

#### **Macro-nivel**

Política monetaria: con la baja inflación se provee de un marco estable para las empresas, sin obstrucción de la inversión por altas tasas de interés.

Política presupuestaria: se busca alcanzar un déficit presupuestario bajo con miras a mantener una estabilidad monetaria.

Política fiscal: debe estimular la inversión productiva. El sistema fiscal debe buscar ser justo, transparente y progresivo.

Políticas para la competencia: debe contrarrestar la emergencia de monopolios, fideicomisos y abusos de poder de mercado.

Política cambiaria: ésta no deben obstruir las exportaciones ni elevar excesivamente los precios de las importaciones.

Política comercial: debe impulsar una integración activa en el mercado mundial.

#### **Meso-nivel**

Políticas de importación y exportación: deben manejarse de tal manera que proteja o impulse, selectivamente, determinadas industrias por periodos limitados de tiempo.

Política de infraestructura: debe asegurar que las ventajas competitivas en la producción no se vean disminuidas por pérdidas en transportación y comunicación; las empresas exitosas deben apoyarse con infraestructura moderna.

Política de educación: debe concebirse de forma que asegure una educación elemental ancha y sólida para toda la población y servicios de educación superior a tantas personas como sea posible; la educación superior debe diseñarse con miras a las necesidades de los campos de especialización que son requeridos por el sector productivo.

Política tecnológica: tiene como objetivo la amplia difusión de procesos técnicos y conceptos organizacionales nuevos, impulsando así la modernización industrial continúa.

Política regional: apunta a un fortalecimiento industrial selectivo que permitirá el surgimiento de clusters industriales. El desarrollo de nuevas ramas de la industria debe ser iniciado y estimulado por el gobierno.

Política ambiental: vigila que la competitividad provenga de la efectividad técnica y organizacional y no de la explotación del hombre y la naturaleza; asegura que la eficiencia económica y ecológica vayan a la par.

### **Micro-nivel**

Capacitación de mano de obra y competencia gerencial: ambos elementos tienen que estar presentes en las empresas para asegurar su competitividad.

Estrategias: las empresas competitivas serán aquellas que estén en posición de su diseño e implementación.

Capacidad de innovación y de gestión: es una condición necesaria para la competitividad a nivel empresarial.

Mejores prácticas a lo largo de la cadena de valor: el uso de estas prácticas es la base para construir la competitividad de las empresas.

Integración de redes tecnológicas: la competitividad de las empresas se verá fortalecida por su integración en estas redes formadas por otras empresas e instituciones de investigación y desarrollo tecnológico.

Logística inter-empresarial: la reorganización al interior de las empresas es un enfoque importante en el mejoramiento de la eficiencia.

Aprendizaje interactivo: las innovaciones siempre provienen de un proceso de aprendizaje; dicho aprendizaje se desprende de la interacción entre proveedores, productores y consumidores.

Todos estos elementos son puestos en acción de tal forma que interactúen entre ellos y de esta interacción emergerá la competitividad.

Hasta este punto se ha hablado de cómo promover la emergencia de la competitividad por medio de elementos que deben estar presentes dentro de las estructuras que conforman la economía, pero falta mencionar la forma en que se manifiesta la competitividad, pues ya se ha hablado de que al ser una habilidad es difícil de medir.

Como tal asignar una medida a la competitividad es algo muy difícil, lo que sí es posible hacer es medir elementos que se ven afectados por ésta. Dentro de la definición de competitividad, antes enunciada se hace referencia a que la economía en análisis puede participar en el mercado mundial y obtener ganancias. De aquí que la forma de medir indirectamente la competitividad mediante las ganancias que reporta la participación de dicho país en el mercado. Sin embargo el volumen de ventas totales de una nación es un indicador que excluye otros muchos factores que también son relevantes.

Así se ha estipulado la medición de tres conceptos que hacen viable que un país obtenga ganancias del mercado mundial y se utilizarán para determinar su competitividad.

#### Calidad

Al ser una cualidad también hace muy difícil su medición, pero es fácil de deducir. Si se tienen dos productos que realizan la misma función y el mismo precio, tendrá mayor cantidad de ventas aquella compañía que fabrique este producto con mayor calidad, de aquí se infiere que un producto con éxito en el mercado es aquel que posee una calidad capaz de satisfacer las necesidades del consumidor de una mejor forma.

#### Eficacia

Este concepto se refiere a las utilidades que genera la venta de un producto. Es necesario recordar que un producto tiene un costo de fabricación y el precio que deviene dicho producto en el mercado está realmente englobando dos conceptos: el costo de fabricación más la utilidad o ganancia para el fabricante. Debido a las condiciones del mercado el fabricante no debe asignar una ganancia arbitraria a su producto, ésta se debería ver regulada por la competencia. Así pues, el fabricante debe encontrar los procesos o tecnologías necesarias para reducir el costo de su producto, procurando mantener la calidad que, como ya se expuso, juega un papel importante

#### Flexibilidad

El mercado, al estar conformado por seres humanos que viven en un entorno cambiante, es un sistema con un gran dinamismo. Las empresas, con el paso del tiempo, deben realizar cambios a sus productos o generar nuevos para cubrir la demanda que se vaya presentando. Las empresas que no son capaces de hacer esto desaparecen. El tiempo en el que pueden realizar estos cambios es un factor vital para la supervivencia de una empresa. Precisamente esta capacidad de las empresas para realizar cambios en su producción en poco tiempo y con bajos costos, recibe el nombre de flexibilidad.



La teoría revisada explica el desarrollo económico de un país en una amplia serie de elementos, fundamentando una visión holística y, en gran medida, compleja del fenómeno que es la dinámica económica. Conforme han pasado los años ha ganado mayor difusión y aceptación hasta el punto que su elevada complejidad ha llevado a todos los partidarios de esta teoría a dividirse en el estudio de sub-ramas con el fin de entender mejor y obtener nuevos conocimientos.

### ***Evaluación de las teorías***

Se debe revisar a fondo cada uno de los conceptos que conforman las teorías encontradas en el estado del arte para determinar si éstas y sus relaciones propuestas son adecuadas al estudio o sirven para la solución del problema.

La evaluación determinará cuál de todas las teorías, ya sea una, un conjunto de ellas o pequeñas partes de varias, es la que mejor ayuda a la descripción, planteamiento y solución del problema de acuerdo a su dinámica y estructura.

### **Evaluación de los Sistemas Nacionales de Innovación y la Competitividad Sistémica**

En este caso ambas teorías fueron analizadas, estudiadas y al ser evaluadas se ha encontrado que las ideas que proponen los Sistemas Nacionales de Innovación (NSI) son correctas y explican de forma adecuada la dinámica en materia económica que se presenta al interior de una nación, pero en virtud de que se pretende plantear un modelo se tiene la dificultad de que esta teoría está muy centrada en la interacción Empresa-I&D-Gobierno y en el caso particular del presente estudio, representa una limitante, pues impone barreras a la expresividad del modelo resultante al contar con pocos elementos interactuantes entre sí. Esta limitación se hace todavía más notoria si se comparan los SIN con la Competitividad Sistémica (CS) donde se observa una gran cantidad de elementos que son tomados en cuenta para describir los diferentes rumbos que puede tomar el desempeño económico. Si a esto se le agrega que esta teoría ya ha catalogado esta gran cantidad de actores en cuatro niveles y ha definido también sus interacciones se puede determinar que la CS es muchísimo más afín a nuestros propósitos y, en consecuencia, será utilizada como marco teórico.

### ***Crítica***

Una vez realizada la evaluación, aquellas teorías que se consideraron más pertinentes se someten a una crítica, es decir, se revisa los puntos fuertes y los puntos débiles al utilizarlas en el estudio o solución del problema. Por medio de la crítica se determinará si las teorías son suficientes o si es necesario proponer una nueva o ampliaciones a las ya existentes.

Realmente la CS es una muy buena teoría para los fines de este trabajo, lo único que puede ser criticado es la gran cantidad de elementos que define. A pesar de que con los enfoques de sistemas complejos se le puede hacer frente a esta situación, es necesario realizar un análisis profundo de estos elementos y sus interacciones para decidir la forma en que serán manejados, ya

sea agrupándolos dentro de un solo concepto, eliminándolos por no tener tanta importancia en la dinámica, catalogándolos dentro del tipo de variable más conveniente, etc.

Si del resultado de la crítica se obtuvo que las teorías no son suficientes, entonces se deberá proponer una conceptualización propia que describirá en qué consiste nuestra conceptualización y debe quedar muy claro por qué razones la conceptualización propuesta es mejor que las encontradas en el estado del arte.

Una vez hecha la revisión y después de haber sido necesario proponer una conceptualización, se debe especificar que teorías son las que vamos a usar para este estudio, ya que posteriormente se especificarán los objetos teóricos a utilizar. Los objetos teóricos son precisamente las categorías conceptuales y sus relaciones.

Esto sirve para que el trabajo quede bien fundamentado y, en el caso de que haya un error, sea fácil identificar si la fuente se encuentra en esta etapa.

En nuestro caso, durante la crítica, se ha determinado que la Competitividad Sistémica es una teoría suficientemente fundamentada con una serie de categorías lo bastante extensa como para permitir hacer un estudio orientado con las ciencias de la complejidad de la dinámica económica. Aun cuando tiene una cantidad de elementos muy grande, esto será subsanado con los enfoques sistémicos y se utilizarán las ciencias de la computación para poder modelar dicha dinámica aprovechando la capacidad de cómputo de los equipos actuales.

## **2.5 Conclusión**

Se han encontrado dos teorías localizadas en el estado del arte sobre los elementos que constituyen el desarrollo económico de una nación. Se evaluaron ambas teorías y se decidió cuál de ellas era más apropiada para desarrollar las actividades necesarias para alcanzar el objetivo.

En el siguiente Capítulo se tomará como marco teórico esta teoría para desarrollar todas las categorías que se utilizarán, describiendo su dinámica, para así construir modelos conceptuales que después serán analizados para desarrollar modelos computacionales propios utilizando alguno o algunos de los enfoques estudiados en el primer Capítulo de este trabajo.

## Capítulo 3: Construcción de los Modelos

En el capítulo anterior se eligió el marco teórico de nuestra problemática. Ahora se definirá un modelo, con suficiente detalle, para realizar corridas de diversos escenarios y estudiar su dinámica.

### 3.1 Determinación de variables

El primer paso a realizar será la elección de una serie de variables que contendrán y/o representarán información del sistema en el modelo propuesto en este estudio. Para ello se leerá nuevamente el marco teórico, tomando nota sobre cualquier información que indique el estado en que se encuentra el sistema, datos que modifiquen ese estado o puntos de entrada para inicializarlo.

En el marco teórico se establecen cuatro niveles, así que se dividirá esta fase en cuatro etapas, una por nivel, lo que permitirá una mayor concentración y menor riesgo de omitir alguna variable importante para la dinámica. Al finalizar todas las etapas se estará en posibilidad de encontrar los puntos donde un nivel puede pasar información a otro, entrelazándolos y uniéndolos para formar un solo modelo.

Se enlistarán las posibles variables y al finalizar se identificarán los principales actores por cada nivel; de ser factible, a cada variable le corresponderá uno solo de los actores y así se formarán pequeños subsistemas dentro de cada nivel. Si alguna variable no encuadra en alguna categoría se dejará fuera, en muchos casos estas variables pueden servir para unir bloques o sub-bloques.

**TABLA 1. Lista de Posibles Variables**

<b>ACTORES</b>	<b>VARIABLES</b>
<b>MACRONIVEL</b>	
Sector externo, mercado interno	DEMANDA
SISTEMA	COMPETITIVIDAD
SISTEMA PRODUCTIVO	Producción
SISTEMA PRODUCTIVO, Mercado interno	Importaciones
SISTEMA PRODUCTIVO	Consumo intermedio
Mercado interno	Consumo final
SISTEMA PRODUCTIVO	Formación de capital
SISTEMA PRODUCTIVO	Exportaciones

SECTOR GOBIERNO	Reservas del gobierno
SECTOR GOBIERNO	Impuestos a la producción
SECTOR GOBIERNO	Impuestos al consumo
SECTOR GOBIERNO	Cobro de servicios
SECTOR GOBIERNO	Gasto en infraestructura
SECTOR GOBIERNO	Gasto social (educación, salud, seguridad)
SECTOR GOBIERNO	Gasto en servicios (agua, energía, residuos, transporte, telecomunicaciones)
SECTOR GOBIERNO	Subsidios
SECTOR GOBIERNO	Empréstitos extranjeros
SECTOR GOBIERNO	Pago de la deuda
<b>MESONIVEL</b>	
<b>SECTOR EXTERNO</b>	Exportaciones
<b>MERCADO INTERNO</b>	Consumo final
Gobiernos locales	Estímulos fiscales
	Subsidios
	Apoyos a la microempresa
Asociaciones de industriales	Información de mercadotecnia y promoción
	Ventajas competitivas en nichos de mercado
Sindicatos	Políticas laborales
	Ventajas competitivas en salarios
	Ventajas competitivas en capacitación laboral
Consejos de Ciencia y Tecnología	Fomento a la I&D
	Asesorías
	Formación de recursos humanos
Sector académico público	Formación de recursos humanos
	I&D básica
Sector académico privado	Formación de recursos humanos
	I&D aplicada
<b>MICRONIVEL</b>	
<b>SISTEMA</b>	<b>COMPETITIVIDAD</b>
Empresas	Productividad del capital
	Productividad del trabajo
	Calidad ISO
	Flexibilidad
	Capacidad de respuesta innovadora
	Reorganización logística
	Reorganización de equipos de trabajo
	Digitalización de la producción: CAD/CAM
Centros de I&D	Aprendizaje interactivo con empresas
	Contacto con el mercado

	Proyectos orientados a problemas de las empresas y estímulos del mercado
Clusters industriales con bancos	Redes de proveedores & clientes
	Financiamiento a productores
	Financiamiento a la exportación
Instituciones y empresas de comercialización	Asesoría técnica a PyMES
	Servicios de información
	Modernización de empaque y embalaje
	Contratación de estudios
	Promoción de infraestructura de exportación: transporte y puertos
<b>METANIVEL</b>	
GOBIERNO	Límites institucionales definidos
SOCIEDAD	Capacidad de auto-organización
GOBIERNO	Disposición al diálogo democrático
GOBIERNO	Flexibilidad de adaptación
SOCIEDAD	Integración social
SOCIEDAD	Capacidad de interacción
SOCIEDAD	Consenso en la inserción en mercado mundial
SOCIEDAD	Valoración del largo plazo
SOCIEDAD	Coincidencia del rumbo de las transformaciones necesarias

### 3.2 Dinámica

Una vez revisadas las variables, se tomarán aquellas que –a juicio del autor- son las necesarias para describir la dinámica del sistema. El siguiente paso es describir, de forma explícita y clara, el comportamiento observado en el fenómeno que se intenta modelar. Esta descripción posteriormente ayudará a unir las variables encontradas mediante flechas que simbolizan relaciones de afectación entre las variables.

A continuación se muestra la descripción de cada uno de los niveles de nuestro sistema.

#### Meta-nivel

En este nivel se tienen dos actores principales: la sociedad y el gobierno; ambos capturan ciertos elementos del ambiente que tienen un alto impacto en el sistema. Así se tiene que el gobierno influye y al mismo tiempo se ve influenciado por la sociedad, lo que se percibe principalmente en algunos comportamientos que involucran conceptos considerado como variables; por ejemplo, la medida y definición de los límites institucionales que reflejan la calidad de la organización de los órganos de gobierno de un país, así como qué tanto interviene uno en el funcionamiento del otro. Si se encuentra que la cantidad de órganos de gobierno es muy baja o por otro lado es excesiva, la

toma de decisiones se verá severamente afectada [21]. De forma similar, la interferencia de un órgano en las labores de otro disminuirá la capacidad para tomar decisiones adecuadas. Las decisiones que tome el gobierno deberán tener como objetivo generar y mantener el bienestar social. Como la nación a la que pertenece dicha sociedad está inmersa en un mundo cambiante, el gobierno debe poseer cierta flexibilidad que le permita adaptarse y hacer frente a los retos impuestos por el cambio. Esto último tiene especial importancia si se habla de materia económica, ya que si el gobierno se mantiene rígido no podrá adaptarse a las condiciones impuestas por el mercado mundial, llevando al país a perder competitividad frente a otras economías.

Por otro lado, aunque el gobierno sea capaz de adaptarse aún faltan muchos pasos y elementos que deben darse para asegurar el mantenimiento de su desarrollo económico. Un aspecto fundamental para mantenerse vigente en el mercado mundial se vincula con cuestiones de tipo político. En la medida en que el gobierno sea flexible estará en posibilidad de participar en un intercambio de ideas, si un gobierno se muestra inflexible a los cambios se tiene un gobierno intolerante a ideas diferentes a las suyas. Es altamente recomendable que esta disposición al diálogo se dé de manera democrática, tomando en cuenta las necesidades presentes y futuras del pueblo, pues sin esta característica los acuerdos a los que se llegue sólo beneficiarían a uno pocos, dañando así la economía de la región [29].

En cuanto a la sociedad, se puede observar que tiene relación con varios conceptos, como lo muestra la Tabla del apartado 3.1, pero dos de ellos son muy importantes, ya que capturan características de la cultura que tenga dicha sociedad, elemento que es un factor determinante en la organización de la región [22]. El primer concepto es la capacidad de auto-organización que indica en qué medida los individuos que componen la sociedad son capaces de organizarse entre ellos, sin necesidad de que alguna autoridad les asigne una forma de hacerlo. No todas las culturas tienen el mismo grado de esta propiedad, sin embargo puede ser aprendida y desarrollada mediante la educación, al igual que puede crecer la valoración del largo plazo, concepto que se refiere a la capacidad de anteponer las necesidades actuales a las necesidades futuras, ya que en muchas ocasiones satisfacer una necesidad actual -sin tomar en cuenta las consecuencias a largo plazo- lleva a sufragar gastos innecesarios que pueden perjudicar en gran medida los planes de desarrollo. En muchos casos se deberán tomar acciones que en el corto plazo parezcan más un daño o un retroceso, pero deberán ir acompañadas de un estudio preciso que determine el beneficio general a futuro [29].

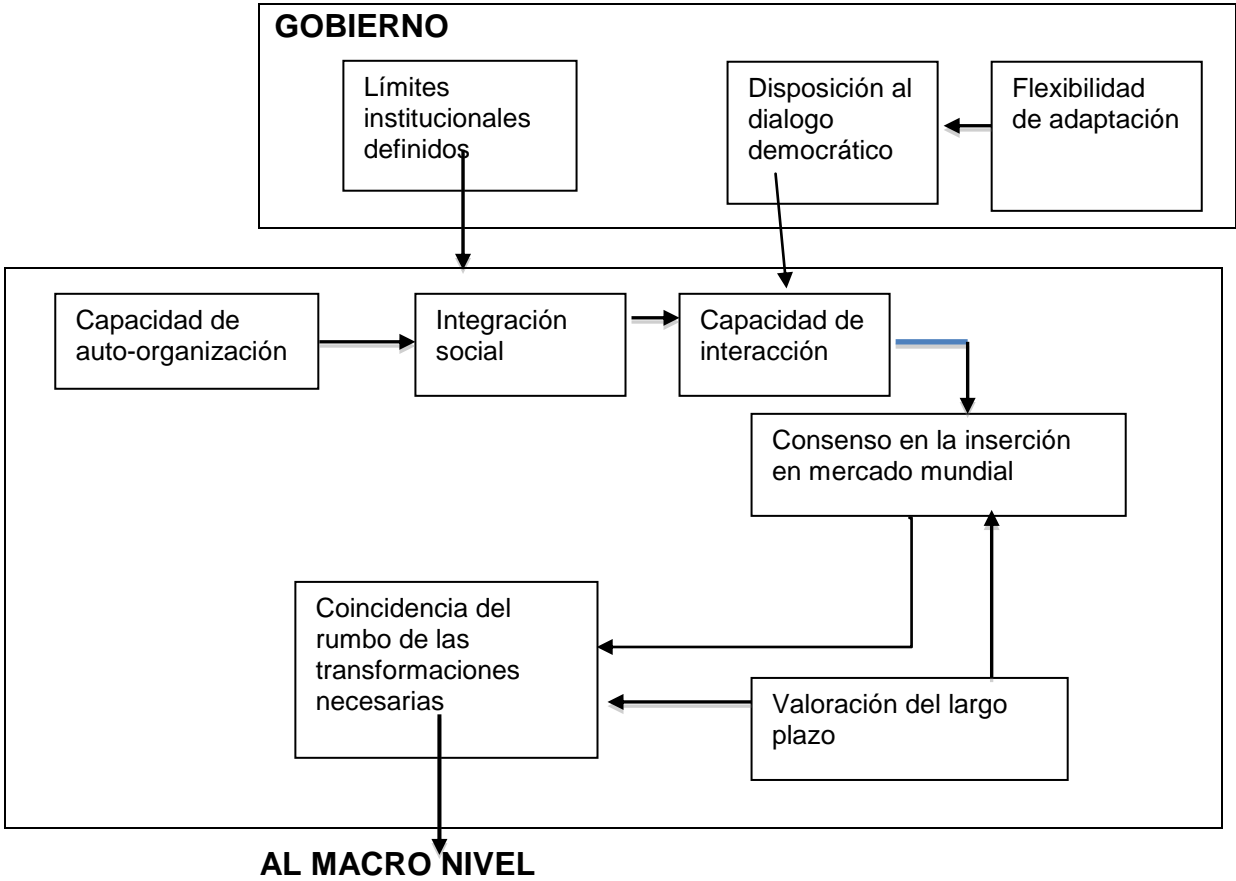
Si la sociedad conforma un solo bloque bien organizado, o por el contrario se encuentra dividido en varios bloques con ideas muy diferentes y cada uno tratará de llevar a los demás en la misma dirección en la que va, se puede hablar de una buena o mala integración social, según sea el caso. La capacidad de auto-organización que tenga la sociedad y la definición de los límites institucionales, influyen en gran medida en ésta para consolidar su integración.

Una buena integración social y la disposición al diálogo que tenga el gobierno, generarán una cierta capacidad de interacción que es la habilidad de la sociedad para interrelacionarse y cooperar para alcanzar objetivos que beneficiarán a la mayoría, teniendo que dejar de lado -en

muchos casos- el logro de objetivos individuales. De esta capacidad y del estado de la valoración a largo plazo que se tenga, resultará un consenso de la inserción en el mercado mundial que - respecto a la materia que se aborda que es la competitividad para el desarrollo- indica si existe una idea común sobre el estado de la región o nación dentro del mercado mundial [29] y qué estado se desea alcanzar. Como consecuencia de esta idea común y de qué tanto se dé prioridad a necesidades futuras sobre necesidades actuales, se decidirá en qué rubros es necesario realizar cambios para mejorar la competitividad [21]. Estas decisiones llevarán al gobierno a determinar la forma en que distribuirá el gasto público, y esto tiene lugar en el macro-nivel. Así se puede decir que esta coincidencia del rumbo de las transformaciones es el resultado de todos los conceptos anteriores y que forma parte del macro-nivel.

Dinámica del Meta-nivel

Así, de la revisión de todo lo antes expuesto, al unir los conceptos se obtiene el siguiente modelo:



## Macro-nivel

Aquí se tienen tres actores principales que interactúan a través de algunas variables más que están dentro del sistema. El objetivo de este nivel es proveer estabilidad económica para que las empresas tengan un ambiente adecuado en el cual desarrollarse. A continuación se verán los procesos que se llevan a cabo.

### *Sistema Productivo*

Esta sección engloba los elementos que intervienen en la producción de bienes y servicios; sólo consta de tres variables cuya dinámica es importante debido a algunos ciclos de retroalimentación que se presentan.

El sistema productivo tiene como finalidad mantener y aumentar la producción, que es la cantidad de bienes y servicios que la región ofrece; esta variable es muy importante debido a la alta interacción que tiene con otros elementos del sistema y se ve afectada por:

La formación de capital, ya que el capital es indispensable para poner en marcha los mecanismos de producción de las empresas [30]. Sin formación de capital la producción no podría aumentar y, en algunos casos, tendería a verse disminuida.

El consumo intermedio, debido a que no todos los bienes son productos terminados o finales. Algunos elementos de la producción son utilizados en la fabricación de productos finales y otros son materias primas procesadas para ser empleadas en la producción para consumo final [30].

La demanda, pues dependiendo el nivel de las necesidades que se tenga será el parámetro de producción; si se tiene una baja demanda no se deberá producir desmesuradamente puesto que no habrá mercado para un porcentaje de la producción, lo que ocasionará pérdidas —en el caso de productos perecederos— o, en otros casos, las empresas se verán obligadas a almacenar el excedente, incurriendo en gastos, bajando la competitividad del sistema.

Las importaciones, pues existen productos que no se producen en la región y que son necesarios para la fabricación de otros, por lo que deben ser traídos de otros mercados; si se importa demasiado se corre el riesgo de que el sistema productivo se vuelva dependiente de otras regiones, es por esto que debe procurarse la producción doméstica de la mayoría de los artículos necesarios para el mercado interno.

Ahora bien, la formación de capital es la tasa a la que se produce el capital dentro de la región. De la producción de capital depende la creación de nuevas empresas, el mejoramiento de las existentes y el aumento de la producción de bienes y servicios. La formación de capital, a su vez, depende de la producción, ya que mientras ésta reporte utilidades a las empresas se irá acumulando dinero que servirá para el mantenimiento del capital de trabajo y la generación de capital para la inversión.



Por otro lado el consumo interno indica la cantidad de bienes que se producen y que son utilizados en la fabricación de productos finales o en servicios, mientras más de éstos se fabriquen en la región la producción aumentará, pues no habrá salida de dinero por las importaciones. Esta variable depende a su vez, de la producción, ya que mientras el volumen total de producción aumente un mayor porcentaje se destinará al consumo intermedio.

### *Sector externo*

Este bloque es la interfaz que utiliza el sistema para ponerse en contacto con su entorno, el mercado mundial. Consta de cuatro variables: las exportaciones, las importaciones, los empréstitos extranjeros y la deuda externa.

Las exportaciones se refieren a los bienes y servicios que se comercializan fuera de la región, originando así ingreso de dinero proveniente del exterior, ya que las empresas extranjeras gastarán cierta cantidad de su capital de trabajo para la adquisición de productos fabricados con recursos domésticos, manteniendo así el capital de trabajo doméstico y pasando una parte del capital extranjero al mercado interno por medio de las utilidades generadas en dichas transacciones. Las exportaciones dependen de la producción, pues si ésta es muy baja, nula o de mala calidad, no habrá que ofrecer al mercado mundial.

Las importaciones engloban a todos los productos y servicios que se adquieren del mercado mundial, provocando así la salida de dinero. Se debe procurar que las importaciones sean menores a las exportaciones, de lo contrario se estaría generando una continua pérdida de dinero de la región, que tarde o temprano se verá reflejada en la producción.

Los empréstitos son el conjunto de obligaciones emitidas por una empresa para hacerse de grandes cantidades de capital. Los empréstitos extranjeros entonces, hacen referencia a la importación de capitales que son muy importantes para activar la economía y para mantener una estabilidad frente a la aparición de alguna crisis.

Como resultado de la actividad económica puede ocurrir que las utilidades obtenidas no alcancen a cubrir el costo de los procesos económicos al interior de la región. Las circunstancias que dan origen a este caso son muy variadas y pueden ir desde un mayor número de importaciones con respecto a las exportaciones, hasta afrontar gastos necesarios para superar alguna crisis, como puede ser un desastre por fenómenos naturales. Para que la economía siga funcionando, el gobierno solicita préstamos a organismos localizados dentro del mercado mundial, creándose así una deuda que se debe ir pagando para evitar la devaluación de la moneda, provocándose inestabilidad económica y pérdidas por tipo de cambio. El pago de la deuda es dependiente de la cantidad de reservas que tenga el gobierno y de la forma en que las distribuya, ya que éste debe hacer frente a sus gastos corrientes para no generar más deuda y procurar dejar un excedente para el pago de la misma.

### *Variables del sistema*

Aun cuando falta describir un bloque del sistema, es importante revisar las variables que sirven como interface para que los demás bloques interactúen entre ellos. Las variables que comprende son: la competitividad, la demanda, el consumo final, impuestos al consumo, cobro de servicios e impuestos a la producción.

La competitividad sirve de interconexión entre el micro-nivel y el macro-nivel. Dentro del macro-nivel indica si existe o no competitividad en las empresas dentro de la región. Es de suma importancia porque afecta a una de las variables clave dentro de este nivel.

La demanda indica el nivel en que son requeridos los productos de la región, tanto en el mercado local como en el mundial, es importante porque afecta directamente a la producción, poniendo en marcha la economía regional.

La competitividad es un factor importante en la formación de la demanda, ya que al generarse mejores productos habrá más mercado para ellos, lo que incrementará la adquisición de éstos en el mercado local y mundial, lo que a su vez aumentará las utilidades generadas, dando lugar a la formación de capital para invertirse en el aumento de la producción.

Las exportaciones también tienen un gran impacto sobre la demanda. Como ya se mencionó, las exportaciones representan el consumo de los productos de la región en el mercado mundial, este nivel de requerimiento puede verse afectado de forma indirecta por fenómenos que ocurran fuera de la región, como pueden ser desastres naturales o crisis en los países que consuman los productos, disminuyendo así la demanda. Por otro lado, un buen nivel de exportaciones ayudará a mantener un mercado para la producción, generando así una tasa de aumento de utilidades favorable para la inversión en nuevos y/o mejores productos.

Otro elemento importante es el consumo final, ya que la compra de productos y servicios terminados afecta en forma directa el nivel de demanda que se puede percibir en el sistema. El tipo de productos que sean consumidos finalmente marcarán las oportunidades de mercado que pueden tener las empresas ya existentes o se abrirán nuevas oportunidades para la formación de nuevas empresas.

Abundando en el consumo final, se puede decir que esta variable representa la cantidad de productos finales adquiridos y reúne tanto a los comprados en el mercado interno como en el mercado externo. Su valor es importante porque resume gran parte de la actividad económica de la región. Es influenciada a su vez por las importaciones, debido a que el consumo de productos traídos de otras regiones se da debido a las necesidades que tiene la población de la región. Para tener una idea más precisa de la actividad económica, este número debe integrarse al reporte que totaliza el consumo de la región. La producción también afecta al consumo final pues el fin de la primera es que sea consumida, ya sea por el mercado externo o interno. Es necesario registrar qué consumo se realiza dentro de la región con el fin de tener mayor información acerca de la demanda que se tiene al interior de la región y así ajustar la producción del siguiente ciclo.

Los impuestos al consumo, junto con el cobro de servicios y los impuestos a la producción, son de suma importancia pues son la vía por la que el gobierno se hace de recursos para poder mediar entre los distintos elementos que conforma la economía regional y canalizar recursos a las áreas donde más haga falta y así influir en el desempeño del mecanismo económico.

Los impuestos al consumo son aquellos recursos que el gobierno pide a los actores que realicen compras dentro del territorio. Incide de forma indirecta en el nivel de la demanda, ya que si los impuestos son demasiado altos la capacidad adquisitiva se verá mermada [30]. La cantidad de recursos captados por esta variable depende por completo del nivel de consumo final, ya que a mayor consumo final se captarán más impuestos por esta vía.

El cobro de servicios comprende el pago que deben realizar los actores que se encuentran dentro de la región, por el uso de servicios de los sistemas de abastecimiento (agua, energía eléctrica, etc.) y eliminación de residuos (drenaje, recolección de basura, etc.). El uso de estos servicios se deriva de la actividad económica que se realiza en la región, es decir, depende principalmente del nivel de producción que se tenga. Esto se puede ver fácilmente si se toma en cuenta que a mayor nivel de producción de una empresa, ésta deberá hacer uso de más servicios como luz y agua. De la misma forma, mayor será la cantidad de desechos que deba eliminar, lo que a su vez confluente en una mayor cantidad de empleados, quienes harán uso de los mismos servicios en sus hogares.

Por otro lado, si la producción de la región se cae, se pueden observar fenómenos como la migración, que darán como resultado una menor utilización de los sistemas antes mencionados.

Los impuestos a la producción son muy importantes y, al igual que el consumo, la fabricación de productos también debe gravarse, pues no todas las empresas en la región son domésticas y es posible que las utilidades que produzcan aquellas que no lo son sean repatriadas. Una forma de evitar la fuga total de éstas es el cobro de impuestos [29]. La cantidad obtenida del cobro de este impuesto será proporcional al nivel de producción. Los impuestos cobrados bajo este rubro no deben ser muy elevados, pues de ser así se estaría frenando la producción [30] que es el motor de la economía regional.

### *Gobierno*

Este es el último bloque del sistema y representa la salida del mismo, ya que de acuerdo a cómo se configuren sus variables finales se mandará una señal de salida al meso-nivel. Sin embargo este bloque recibe una señal del meta-nivel por medio de la variable coincidencias del rumbo de las transformaciones necesarias.

En las reservas del gobierno se reúnen todas sus entradas de recursos; para conformarlas recibe los recursos obtenidos por el cobro de impuestos a la producción, el cobro de servicios, el cobro de impuestos al consumo y la entrada de capitales extranjeros vía empréstitos.

De acuerdo a la señal recibida del meta-nivel, estos recursos serán distribuidos entre cinco variables. La primera de ellas es el pago de la deuda, variable perteneciente al sector externo y que ya fue explicada. Las otras cuatro constituyen el gasto del gobierno.

El gasto que se destina a infraestructura es para la creación, mantenimiento y/o mejoramiento de sistemas de transporte, telecomunicaciones y otros rubros, con el fin de que las empresas puedan desarrollar sus actividades de una forma más eficiente, no sólo en lo referente a costos, sino también a la reducción de tiempos.

El gasto en servicios tiene gran peso pues, como ya se ha mencionado, la producción requiere de sistemas de abastecimiento y eliminación de residuos, el gasto realizado reflejará el estado que el gobierno quiere que alcancen dichos sistemas, ya sea para bien o para mal. Es importante mencionar que sistemas más eficientes reducirán los costos de la producción a largo plazo.

El gasto social se refiere al dinero destinado para el mejoramiento de la calidad de vida y su uso puede ser muy diverso: ayudas alimentarias, mejoramiento educativo, reubicación de población, planes de emergencia ante fenómenos naturales, etc.

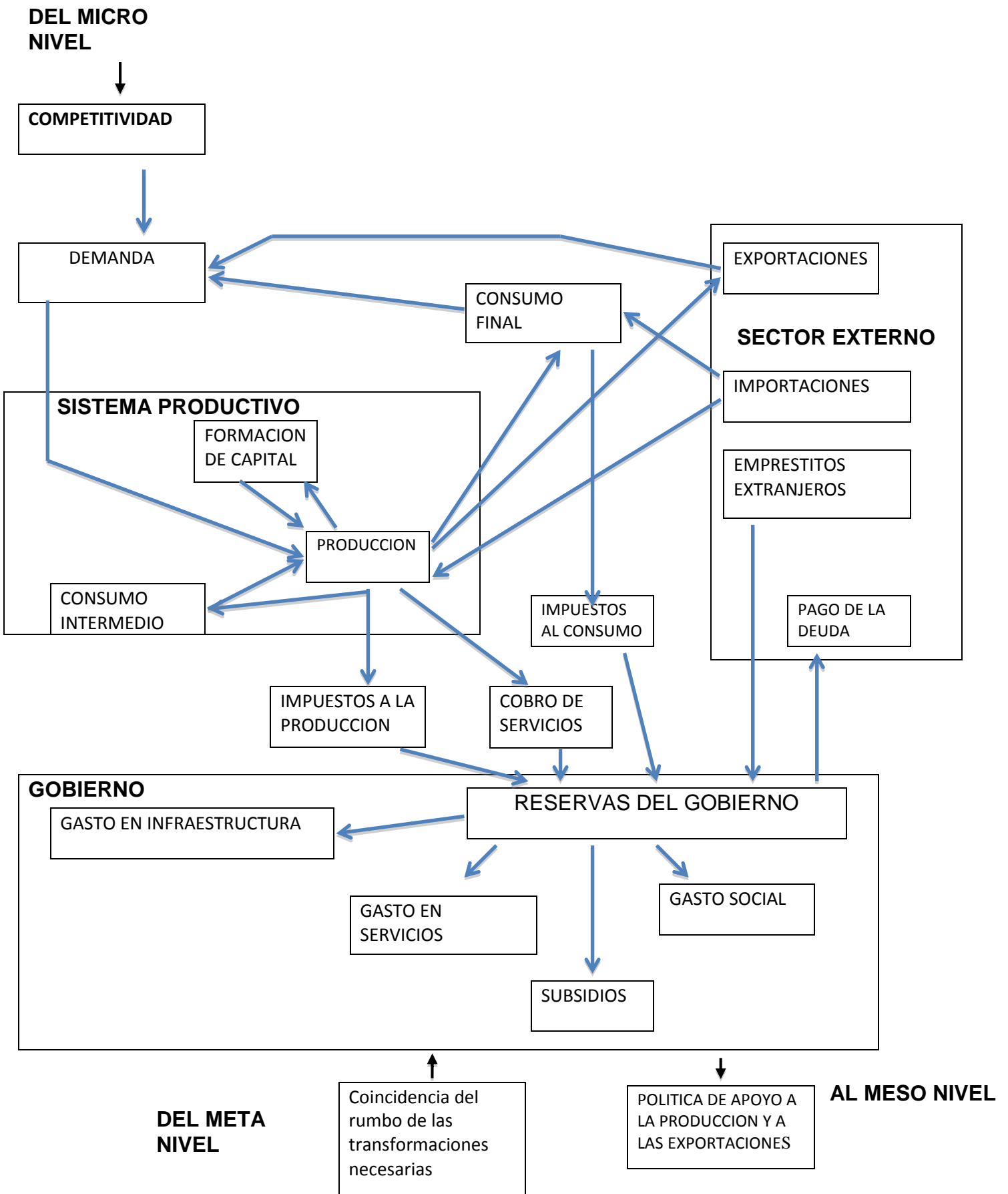
Por último se tienen los subsidios, elemento que representa la ayuda que el gobierno otorga para favorecer ciertas actividades, como son: formación de recursos humanos, fomento de cierto tipo de producción, incentivos para poblar una cierta región, etc.

#### *Variable de salida*

La forma en cómo el gobierno reparte sus recursos da una configuración que determina el grado de efectividad de la política de apoyo a la producción y a las exportaciones, misma que afecta de diversas maneras a las variables pertenecientes al meso-nivel.

#### Dinámica del macro-nivel

De todo lo descrito se conforma el siguiente diagrama de bloques:



## Meso-nivel

De la configuración que tenga el gasto del gobierno se podrán derivar políticas cuyas definiciones idealmente deben de promover la aparición y surgimiento de pequeñas y medianas empresas (PyMEs) en las que generalmente surge la innovación de tecnologías, procesos de producción y procesos de organización.

Es común que en la realidad este ideal no se cumpla, sin embargo existen variables que tiene más peso que otras para alcanzar el objetivo planteado, además de que, por la forma de interacción de las variables, se pueden encontrar diferentes combinaciones de ellas, en las que se logre el desarrollo de las PyMEs (Pequeñas y Medianas Empresas).

A continuación se observan las variables y su interacción.

### *PyMEs*

Esta variable hace referencia a si se está o no logrando el objetivo ideal, que es el desarrollo de las PyMEs. Esta es la variable de salida, que envía una señal requerida por el micro-nivel. Esta variable se ve afectada por muchos factores (también denominados variables) que pueden agruparse de acuerdo a los actores que a su vez las afectan, tales como:

### *Política de apoyo a la producción y a las exportaciones*

Esta variable viene del macro-nivel, conjuntando la configuración del gasto del gobierno; afecta a cada uno de los actores cuya interacción repercute en el desarrollo de las PyMEs y que aquí se representan como variables de escenario.

### *Gobiernos locales*

Estos órdenes reciben señales del gobierno a nivel macro y pueden determinar el grado de congruencia con dicho gobierno. Existen tres variables sobre las cuales tienen repercusión directa y éstas a su vez afectan a la variable de salida.

El gobierno local puede determinar la utilización de estímulos fiscales que generalmente se manifiestan en la reducción del cobro de los impuestos, al cumplir cierta condición; por ejemplo: reducción de impuestos a las empresas de cierto ramo, reducción del cobro de servicios de sistemas de eliminación de residuos, etc. Lo anterior lo hace con el fin de consolidar la producción de las PyMEs y así lograr que se mantengan fuertes.

Otro elemento sobre el que los gobiernos locales pueden repercutir son los subsidios o ayudas que pueden ofrecer y se hacen efectivos cuando se destina una parte de las reservas al pago parcial o total de algún servicio, como por ejemplo: el pago parcial de los servicios de abastecimiento a empresas, el pago de manutención para la formación de recursos humanos, etc. En el corto plazo los subsidios se perciben como gastos elevados, pero tienen la finalidad de mejorar la competitividad de la zona a largo plazo.

También el gobierno destina una parte de sus recursos exclusivamente al fortalecimiento y consolidación de las PyMEs. Esto puede hacerse por medio de diferentes mecanismos, como concursos, concesiones, incubadoras de empresas, préstamos, etc.

#### *Asociaciones de industriales*

Idealmente debe existir una gran interacción entre las empresas, lo que originaría la aparición de asociaciones. En la realidad esto no siempre es así, lo que debilita en gran medida a las PyMEs, pues estos grupos son los encargados de inducir la información sobre mercadotecnia y promoción. En muchas ocasiones las pequeñas y medianas empresas son impulsadas por la creación de nuevos productos o nuevas formas de organización, sin embargo existe un tipo de conocimiento del que es muy factible que carezcan -debido a su temprana edad dentro del mercado- éste es conocido como “how-to” o “saber-como” [21]. Es muy posible que otras empresas con un poco más de tiempo o debido a la interacción que tienen, ya hayan pasado por experiencias que son nuevas para otras empresas, este tipo de conocimiento puede referirse a la forma de vender y promocionar un producto. Es por eso que esta variable es muy importante, al existir mayor información en este rubro las empresas pueden fortalecerse entre ellas.

Otro factor que debe ser impulsado por las asociaciones de industriales es la identificación de ventajas competitivas en nichos de mercado -éstos son segmentos del mercado donde los consumidores tienen características y necesidades homogéneas- y cuyas demandas no están del todo cubiertas por la oferta actual. Encontrar aquellos elementos que hacen que las empresas de una región puedan satisfacer necesidades que las empresas de otras regiones no, es un elemento clave para la consolidación de las PyMEs domésticas frente al mercado mundial.

#### *Asociaciones sindicales*

Los sindicatos son asociaciones de trabajadores que buscan defender los intereses de su comunidad. La asociación de sindicatos agrupa a trabajadores de más de un sector industrial, dando lugar a interacciones interesantes.

Aunque en primera instancia pueda parecer contraproducente, los trabajadores con mejores sueldos, es decir con ventajas competitivas en salarios, pueden solventar mayores gastos, aumentando así la demanda de la producción de las PyMEs y consolidando su permanencia en el mercado interno. Además, el salario debe corresponder al valor agregado que puedan aportar a la producción, por lo que es necesario también tomar en cuenta las siguientes dos variables.

Al tener una gran interacción de trabajadores y éstos a su vez con los patrones por medio del sindicato, pueden identificarse puntos débiles en el conocimiento de los trabajadores o puntos de oportunidad para mejorarlo. De cualquier modo el resultado será el fomento para mejorar la capacitación de los empleados, dando lugar a ventajas competitivas en capacitación.

La participación de los trabajadores -de tal forma que se promueva la formación de clusters industriales y se consoliden aquellos que están siendo formados- será determinada por las políticas laborales colaborativas que logren establecer.

#### *Consejos estatales de ciencia y tecnología*

La aparición y configuración de estos consejos tendrá gran influencia sobre los recursos humanos y tecnológicos de las PyMEs. Hay tres actividades que se deben favorecer para lograr una buena influencia, esto es: fomentar la investigación, desarrollo de nuevas tecnologías y procesos en la región para fortalecer a sus PyMEs [29]. Ahora bien, el desarrollo de nuevas tecnologías y procesos deberá ir acompañado de personal preparado para su utilización, lo que permitirá su aprovechamiento por parte de las PYMES, de ahí su importancia.

Asimismo, los consejos deberán realizar asesorías técnicas con la función de vincular la I&D con las PyMEs, pues en muchos casos es necesario adecuar los nuevos descubrimientos a la actividad cotidiana de las empresas; esta variable es la clave para que tanto las nuevas tecnologías como el personal capacitado, ocupen su lugar dentro del mercado [22].

#### *Sector académico público*

Este sector se refiere a los sistemas de educación y centros de investigación financiados por el gobierno. La configuración de este sector también afectará al micro-nivel, por lo que enviará una señal al mismo. Estos centros tienen dos tareas principales con respecto a las PyMEs.

1. El sistema educativo público debe formar recursos humanos para mantener las actividades económicas de la región y a su vez debe preparar una sección de ellos para los centros de investigación, tanto propios como privados.
2. Se debe destinar una parte de los recursos a la investigación básica, pues es la plataforma de nuevos descubrimientos y por tal no debe descuidarse [29]. La I&D aplicados se refiere a hacer más eficientes las actividades de las empresas.

#### *Sector académico privado*

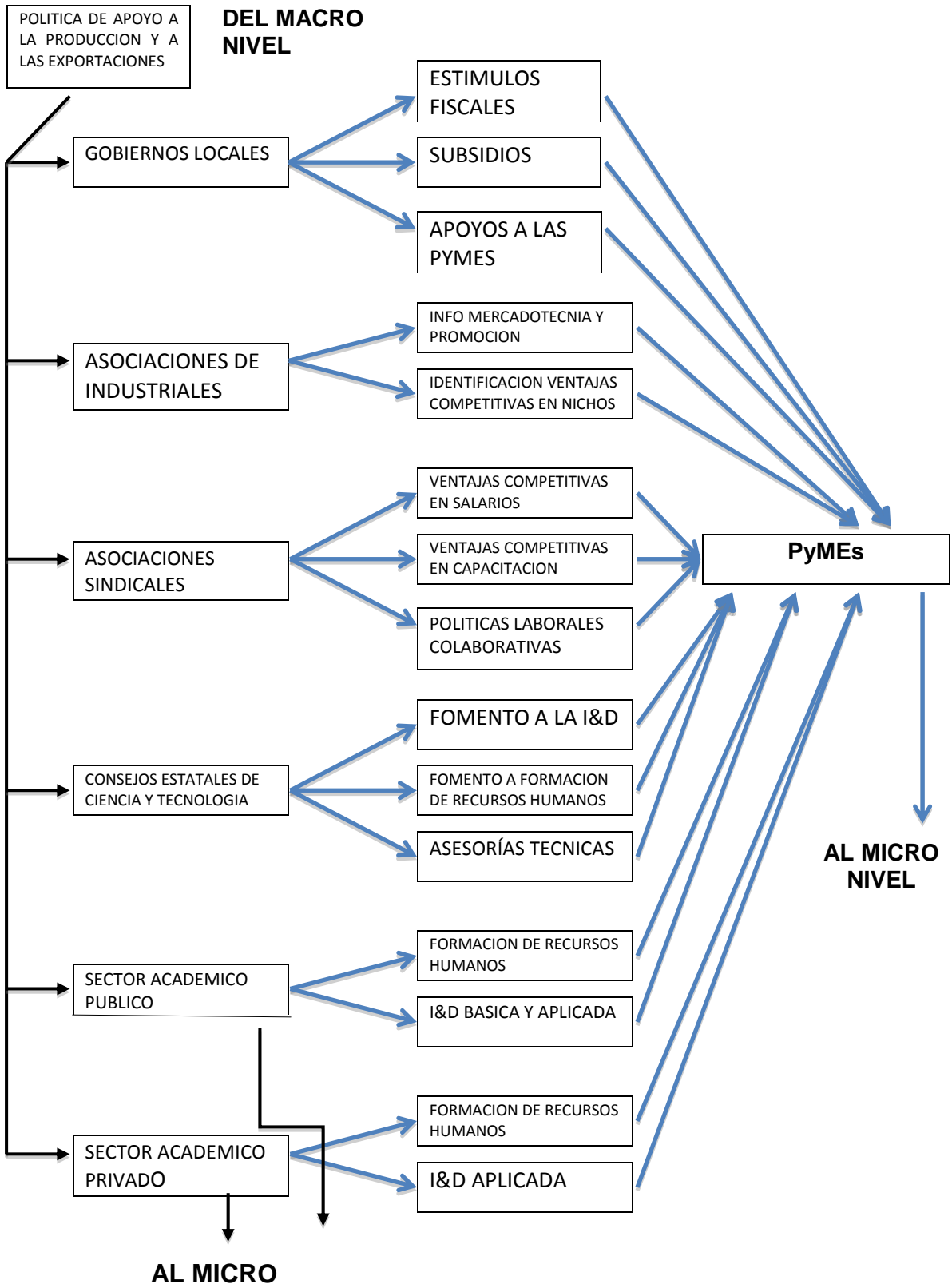
Se refiere a los sistemas educativos y centros de investigación mantenidos con capital proveniente de las actividades de las empresas. Al igual que el público, su configuración también afectará al micro-nivel, por lo que también se enviará una señal. Aquí se distinguen dos tareas similares al sector anterior.

1. Formación de recursos humanos.
2. I&D aplicada: se recomienda que estos centros de investigación no realicen investigación básica, pues es más difícil de capitalizar y mantener que la aplicada. La I&D aplicada en este caso deberá estar más enfocada a la solución y mejoramiento de las actividades empresariales.



Diagrama de bloques

De la descripción anterior surge el siguiente modelo.



### Micro-nivel

En el micro-nivel se conjuntan todos los resultados de los niveles anteriores, junto con otros elementos, y de su interacción se observará si surge la competitividad. Las principales interacciones que aquí aparecen son las necesarias para el surgimiento de la innovación [22]: la interacción de flexibilidad, calidad y eficiencia de las empresas en conjunto con una relación más estrecha con los centros de I&D y la forma en cómo el gobierno propicia estas relaciones.

Dependiendo del nivel de competitividad que aquí se obtenga, se enviará una señal al macro-nivel para retroalimentar todo el proceso. A continuación se verán las variables y las interacciones que tienen lugar en este nivel.

#### *Competitividad*

Esta es la variable de salida de este sistema e indica en qué medida aparece la competitividad como resultado de la interacción de un gran número de variables que, al igual que en el nivel anterior, se pueden agrupar de acuerdo a la configuración de una variable que las afecta en común.

#### *PyMEs*

Esta variable recibe una señal que viene del meso-nivel que indica la consolidación de las pequeñas y medianas empresas. La configuración de ésta tendrá serias implicaciones en la determinación de diversas variables que se derivan de las empresas y que están muy relacionadas con el nivel de competitividad de las mismas.

#### *Productividad del capital*

Las empresas necesitan de un capital inicial para operar, por medio de las diferentes actividades que se realicen a su interior, se obtendrán ganancias. De aquí pueden surgir tres casos:

Ganancias menores al capital: en este caso la empresa inició con una cantidad de dinero y terminó con una cantidad menor, por lo que corre un gran riesgo de desaparecer, en virtud de que se puede consumir todo el capital y en ese momento no tendrá manera de continuar con sus operaciones.

Ganancias iguales al capital: en esta circunstancia la empresa ha quedado en un equilibrio y aunque en primera instancia esto pudiera parecer bueno, realmente no lo es, debido a que tanto el mercado local como el mundial son entornos altamente dinámicos y si la empresa no cambia, pronto se verá rebasada por el entorno y caerá en el caso anterior.

Ganancias superiores al capital: aquí la empresa ha recuperado lo invertido inicialmente, lo que asegura la continuación de sus operaciones, y ha generado un excedente que puede ser invertido en el mejoramiento de la empresa para mantenerse vigente dentro del entorno.

La productividad del capital puede ser entendida como el nivel de ganancias obtenidas que exceden al capital.

#### *Productividad del trabajo*

Los trabajadores son una parte fundamental en las empresas. Se puede pensar en las horas/hombre como medida del trabajo que se realiza y la forma más sencilla de ilustrar la productividad es haciendo la comparación entre dos franquicias de una misma empresa. Partiendo del supuesto de que ambas franquicias tienen la misma producción, pero una utiliza el doble de empleados, la cantidad de horas/hombre en la empresa que tiene el doble de empleados es mayor por lo tanto se puede decir que en ella hay más trabajo. Pero los resultados finales son los mismos que en la que tiene la mitad de empleados, esto quiere decir que la mitad del trabajo se está perdiendo y por ende su productividad es menor.

Se puede apreciar que esta variable y la anterior van muy de la mano con el concepto de eficiencia.

#### *Calidad ISO*

La alta calidad es una condición necesaria para la competitividad, sin embargo medirla es una tarea muy complicada. Afortunadamente hoy en día existen certificaciones que garantizan a los consumidores que las empresas siguen políticas de procesos, hacen uso de tecnologías, tienen políticas de organización, y poseen cierto nivel de instalaciones, entre otros elementos, que aseguran una alta calidad de sus productos finales. De esta forma mientras más empresas poseen estas certificaciones la competitividad de la región va aumentando.

#### *Flexibilidad*

Como ya se había mencionado, la flexibilidad es la capacidad de las empresas de hacer modificaciones en su línea de producción para hacer frente a los cambios en las necesidades del mercado [22]. Para aumentar esta capacidad, las empresas deben reducir sus números de cadenas de ensamblaje y sistemas de transferencia para migrar hacia una mayor cantidad de islas de ensamblaje y fabricación [29].

#### *Capacidad de respuesta innovativa*

Esta variable se refiere al nivel de asimilación que tienen las empresas al momento de implantar innovaciones radicales como parte de sus operaciones, las cuales pueden caer dentro de tres campos: nuevas tecnologías, nuevos material y nuevos conceptos organizativos.

### *Reorganización logística*

En la actualidad no es suficiente implementar cambios incrementales, para mejorar el funcionamiento de la empresa deben hacer profundas modificaciones, como la reintegración del desarrollo, producción y comercialización de productos, o la reorganización en relaciones de suministros, reduciendo los proveedores directos por el incremento de proveedores de servicios integrado [21,29]. Esta variable indica precisamente el nivel de adopción de estos cambios.

### *Reorganización de equipos de trabajo*

Para lograr un mejoramiento consistente en las empresas es necesario adoptar nuevos conceptos organizativos, como la reducción de planos jerárquicos, y delegar ciertas cuestiones de la toma de decisiones a los niveles inferiores [21]. Esto sirve para mejorar los procesos de reintegración, además de que propicia una mayor interacción entre los niveles, dando lugar a un mejor aprovechamiento de los conocimientos que poseen los trabajadores y que fueron adquiridos por la experiencia.

### *Digitalización de la producción*

La utilización de las nuevas tecnologías es determinante para mejorar la eficiencia de las empresas. Al automatizar sus plantas de fabricación, sus comunicaciones y la organización de sus actividades, la empresa tendrá un mejor rendimiento del trabajo que en ella se realice, pues reducirá la cantidad de personal necesario, cuestión que de forma indirecta incidirá en la reducción de costos por enfermedades o accidentes. Además, los sistemas digitales en muchas ocasiones ofrecen una mayor precisión y velocidad con respecto a la mano de obra.

### *Centros de I&D*

El valor de esta variable viene del meso-nivel e indica la forma en cómo están organizados estos centros, su cantidad, si son públicos o privados, sus interacciones y relaciones con empresas. Esta configuración afectará tres variables que representan las interacciones más importantes para la generación de la competitividad.

### *Aprendizaje interactivo con empresas*

En los centros de investigación y desarrollo tienen lugar las innovaciones necesarias para las empresas, sin embargo éstas deben ser adaptadas para su uso final; es de suma importancia que exista una gran interacción entre las empresas y los centros ya que de ello depende el éxito de la innovación. Del lado de los centros se tiene la aparición de una nueva tecnología o proceso y del lado de las empresas se plantean necesidades que a su vez son impuestas por los requerimientos del mercado. Así, hay un largo camino que debe ser recorrido por ambas partes. Por el lado de las empresas se debe aprender la forma en cómo incorporar esas nuevas tecnologías a las actividades y, por parte de los centros, se

debe aprender a adecuar y promocionar sus descubrimientos, de tal forma que resulten atractivos y útiles a las empresas. La interacción entre ambos favorece la identificación de puntos clave en sus respectivas tareas de aprendizaje.

#### *Contacto con el mercado*

Esta variable es de gran peso, pues a fin de cuantas las innovaciones que se generen tienen como finalidad ayudar a que las empresas cubran las necesidades que impone el mercado; sin conocimiento de éste, las innovaciones generadas corren el riesgo de cubrir necesidades no existentes o que no son prioritarias en el momento, siendo así relegadas y -en algunos casos- dejadas en desuso. Ahora, no se debe mal interpretar la idea anterior, los centros no deben enfocarse totalmente a la investigación aplicada, es bueno y recomendable que también se realice investigación básica, la idea principal es que la investigación aplicada este bien encaminada y ayude a mejorar la competitividad de las empresas y esto se logra con un buen nivel de contacto con el mercado.

#### *Proyectos orientados a problemas de las empresas y estímulos del mercado*

Como parte de una buena interacción entre las empresas y los centros, éstos deben estar abiertos y enfocar una parte de sus recursos a las investigaciones de la solución de problemas presentes en las empresas locales y que éstas no pueden solucionar por falta de personal capacitado o de recursos. Otro rubro que deben cubrir los centros es la generación de información que le sea útil a las empresas acerca del mercado, para que de esta forma puedan coordinarse y hacer frente a las necesidades que se encuentren una vez analizada la información obtenida.

#### *Clusters de industriales con bancos*

Dentro de toda economía el sector financiero juega un papel muy importante, pues es el encargado de canalizar los recursos entre aquellos que los tienen y aquellos que los necesitan, por cualquiera de los medios que tienen: préstamos, inversiones, fondos, fideicomisos, venta de bonos, compra de deudas, etc. En sus manos está la capacidad de estimular o reducir la actividad económica, por esta razón el sector financiero debe estar muy diversificado para que el mercado pueda regularlo.

Al existir una gran cantidad de empresas y muchos bancos, se corre el riesgo de que cada quien busque su conveniencia y los recursos se dispersen demasiado. La formación de grupos de empresas y bancos permite que siga existiendo la pluralidad necesaria y a su vez que los recursos no se dispersen tanto al estar concentrados. Las áreas que deben cuidarse para que los recursos estén mejor canalizados son las siguientes.

### *Redes de proveedores y clientes*

Este rubro está más identificado con los clusters de industriales, ya que las empresas deben aprender a encontrar a aquellos proveedores que les ofrezcan un mejor servicio o producto y que resultan ser buenos clientes. Esto permite que las actividades de las empresas fluyan de una mejor manera. Es conveniente que una vez identificados estos elementos se siga manteniendo un trato, pues esto permite poco a poco ir generando acuerdos que beneficien a las empresas que comprendan. Justo en esta parte es donde entran en acción los bancos, ya que al haber contacto entre empresas es muy probable que no todas cuenten con el servicio del mismo banco y los tratos acordados frecuentemente son relacionados con dinero y tiempos de pago, así que las relaciones entre bancos pueden ayudar u obstaculizar la generación de los acuerdos.

### *Financiamiento a productores*

Como ya se ha visto, en el macro-nivel la producción necesita de capital para poder realizarse. También se ha observado que la producción puede llegar a generar un remanente de ganancias. En ocasiones, empresas que generan un gran excedente de ganancias ya no pueden mejorarse a sí mismas por medio de inversiones, por lo que ese excedente (dinero) se estaría desperdiciando si tan sólo se queda guardado. Por otro lado, se tienen empresas que van iniciando, que tuvieron un mal periodo o que necesitan capital para hacerse más competitivas. La respuesta a este problema la tienen los bancos, ya que pueden canalizar el dinero excedente de una empresa a otra que lo necesita, por medio de alguno de sus instrumentos, generando ganancias para todos; el banco obtiene su utilidad, la empresa con excedente al final obtendrá su dinero más un nuevo excedente y la empresa a la que le llegó el dinero obtiene la oportunidad de mejorar.

Al existir clusters de industriales con bancos se pueden generar tratos para obtener mejores rendimientos o mejores condiciones de pago de deudas, lográndose así un beneficio extra para aquellas entidades pertenecientes al grupo.

### *Financiamiento a la exportación*

Aquí se observan circunstancias muy similares a la variable anterior, con la diferencia de que el dinero no se destinará a la producción sino a cubrir los gastos que deben realizarse para llevar la producción al mercado mundial. Este tipo de financiamiento es muy importante ya que en varios casos permite ampliar el mercado y en algunos otros posibilita que las empresas tengan un mercado al ser otras regiones las principales consumidoras de sus productos. Además de esto favorece el ingreso de recursos del exterior a la región, lo que permite mantener una estabilidad económica positiva para las empresas.

### *Instituciones y empresas de comercialización*

Como parte de la interacción entre empresas y de las políticas que el gobierno debe implementar para fomentar la competitividad se encuentran las actividades relacionadas con la comercialización de los bienes y servicios producidos. Como ya se mencionó, las pequeñas y medianas empresas son el sector crítico para la competitividad y éstas tienen como rasgo característico la formación reciente, de donde se origina una falta de conocimientos que generalmente se obtienen de forma empírica. Para acelerar este proceso y potenciar su difusión, tanto los clusters de empresas como las instituciones de gobierno deben realizar ciertas actividades.

#### *Asesoría técnica a PyMEs*

Se trata principalmente de formar empresas o instituciones dedicadas exclusivamente a recabar los conocimientos necesarios sobre comercialización, organizarlos de tal forma que se pueda facilitar su difusión por medio de acciones tales como cursos, consultorías, capacitaciones, etc., con la intención que otras empresas puedan captar y asimilar rápidamente estos conocimientos y ponerlos en práctica para abrir nuevos mercados a su producción.

#### *Servicios de información*

Aquí el actor principal es el gobierno, que debe designar personal y presupuesto para la obtención de datos y generación de información referente a los mercados, que pueda ser utilizada para mejorar la producción de acuerdo a las necesidades detectadas. También debe abrirse espacio para que las empresas tomen una sección de los mercados y realicen estas tareas con el fin de tener una mayor pluralidad de puntos de vista acerca de los mercados y para activar la economía local.

#### *Modernización de embarque y embalaje*

Si bien es cierto que se deben tener amplios conocimientos del mercado para poder generar productos que sean competitivos, esto no serviría de nada si no se hace un manejo adecuado de dichos productos durante su movilización, al realizar la distribución hasta sus usuarios finales. Esto es muy sencillo de entender, sobre todo en los casos de exportación, donde los productos ya terminados o sus partes tienen que recorrer grandes distancias y si su empaque no está bien diseñado muchos de estos productos pueden sufrir daños de distintas magnitudes, desde aquellos que sólo afectan su estética hasta aquellos que los dejan inservibles, pasando por daños que pueden reducir su vida útil. Todos estos casos generan pérdidas a las empresas, reduciendo así su eficiencia, por lo que la modernización de embarque y embalaje es muy importante pues permite reducir estas pérdidas al adecuar los requerimientos establecidos por los medios de transporte actuales y las herramientas utilizadas en el manejo durante la distribución.

### *Contratación de estudios*

En muchas ocasiones las empresas necesitan información más precisa o que cumpla con ciertos requerimientos, en estos casos los servicios de información pueden no ser suficientes. Para eso es necesario que exista una pluralidad de servicios de información, para que las empresas puedan contratar personal o empresas que tengan la capacidad y experiencia para recabar la información que necesitan bajo las condiciones que precisan. Esto también debe formar parte de la cultura de las empresas y al interior de los clusters que formen.

### *Demanda y promoción de infraestructura de exportación*

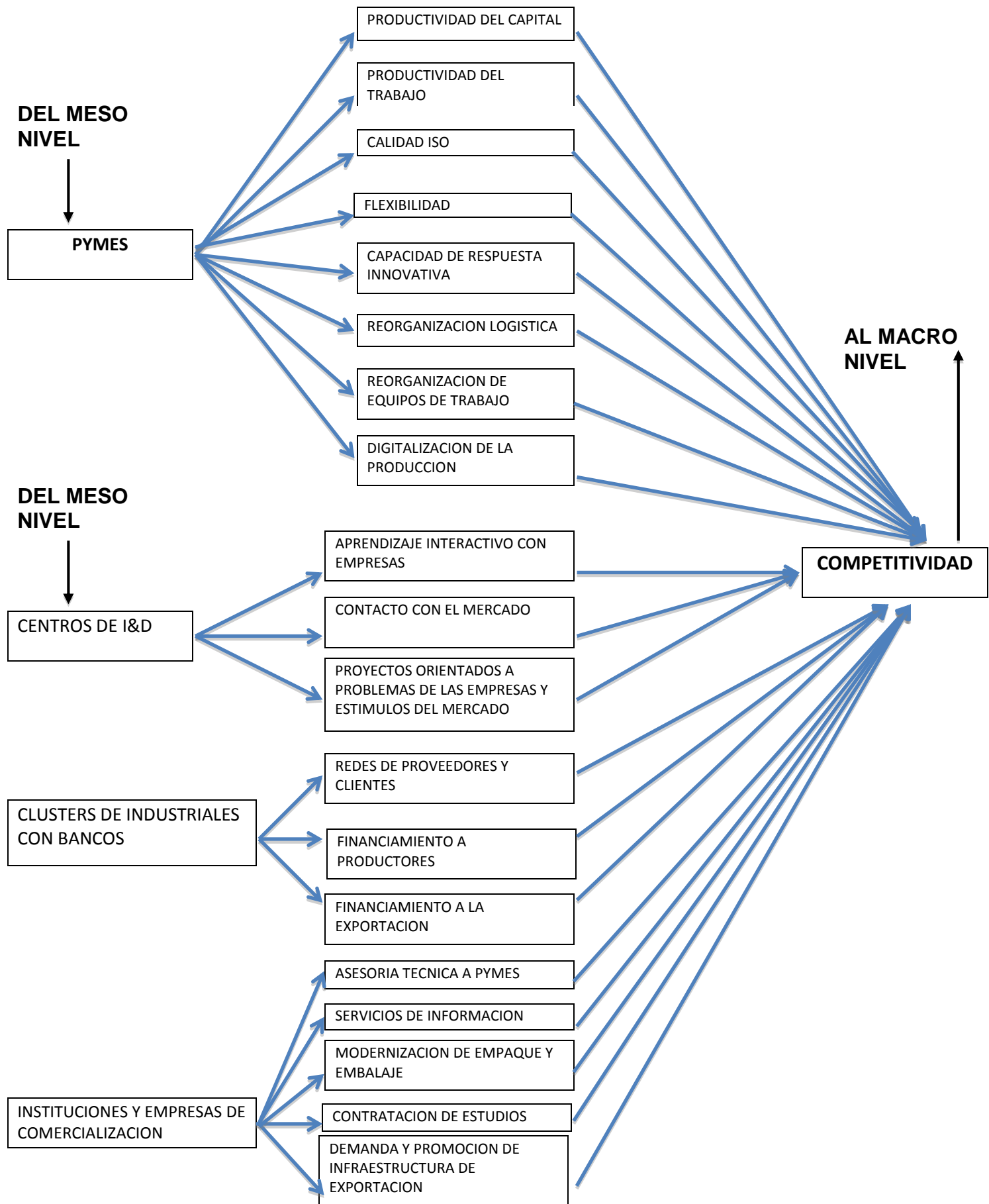
Como agentes especializados en la exportación de los bienes producidos en la región, este sector es el que más contacto tiene con la infraestructura, pudiendo así identificar con más detalles aquellos puntos donde ésta es insuficiente y donde hace falta realizar obras de mantenimiento y reparación. Por estas razones las peticiones que se hagan al gobierno sobre nuevas obras y mantenimiento son las que tienen más peso. En el caso de que estas empresas e instituciones no realizarán esta actividad, se estaría cayendo en un grave error en la dinámica, pues las otras empresas no contarían con los canales adecuados de comunicación con el gobierno para rellenar el hueco en la dinámica.

Por otro lado, estos actores también complementan un canal de comunicación muy importante, pues el gobierno -al realizar nuevas obras y mejorar las ya existentes- necesita comunicar dichas acciones para difundir la información entre las empresas que fungirán como usuarios finales y así aprovechar de mejor manera el gasto realizado en infraestructura. El canal más eficiente que tiene el gobierno para cumplir dicha función son precisamente estas instituciones y empresas que tienen como tarea principal asesorar a otras empresas en la comercialización de sus productos, puesto que serán las encargadas de difundir las posibles opciones de infraestructura que el gobierno tiene destinadas a este fin.

### Dinámica

De todo lo revisado se construye el siguiente modelo.





### **3.3 Conclusión**

Hasta este punto ya se cuenta con cuatro sistemas capaces de sustentar modelos de simulación de la actividad económica y que también son capaces de interactuar entre ellos. En el siguiente Capítulo se abordará la implementación de estos modelos sobre plataformas computacionales para poder correr escenarios y presentar así resultados que los validen.

## Capítulo 4: Implementación y Resultados

Como se vio en el Capítulo anterior, ya se tienen los modelos conceptuales de los sistemas que conforman cada uno de los cuatro niveles de cuya interacción deberá surgir la competitividad, según lo estipulado por el marco teórico seleccionado en el Capítulo 2. Ahora se procederá a elegir alguno o algunos de los enfoques estudiados en el primer Capítulo para que, con base en los modelos conceptuales, se creen modelos computacionales en los que sea posible simular diferentes escenarios y observar los resultados que se obtienen.

### 4.1 Ciclo de modelado

Se estudiará cada nivel de manera detenida para determinar cuál será la mejor manera de implementarlo. Como cada nivel tiene un parámetro de complejidad distinto se abordará del caso más sencillo al más complejo.

Para construir los modelos se utilizará un ciclo de modelado que consta de los siguientes pasos [31]:

1. *Formulación de preguntas*: las preguntas a las que se hace referencia son aquellas a las que pretende dar respuesta la investigación. Estas preguntas definirán el objetivo del modelo, permitiendo así filtrar información que no se considere relevante para contestar las preguntas antes mencionadas. En el caso de los sistemas complejos, como lo es el sistema en estudio, formular las preguntas adecuadas es difícil debido a que es complicado focalizar la atención, por lo que generalmente las preguntas tendrán que ser experimentales y posteriormente podrán ser reformuladas.
2. *Generar hipótesis para procesos y estructuras esenciales*: se utilizará un enfoque deductivo, esto es empezando por lo general y bajando poco a poco hacia lo particular, haciéndose preguntas del estilo de: ¿qué factores tienen una gran influencia en el fenómeno de interés?, ¿estos factores son independientes o en qué grado interactúan entre ellos?, ¿son afectados por otros factores importantes?, etc. Para esto se utilizarán diagramas de influencia y diagramas de flujo, entre otros. Es importante recalcar que independientemente de la técnica que se utilice, se complementará con la compilación del entendimiento y conocimiento existente de la problemática.
3. *Elegir escalas, entidades, variables de estado, procesos y parámetros*: una vez que se eligieron las formas de representar el sistema en estudio se especificará el modelo propuesto a detalle. A tal efecto es muy recomendable usar el protocolo ODD [32] adaptándolo un poco para el tipo de modelado que se usará y que será detallado posteriormente.

4. *Implementar el modelo*: en esta parte se utilizarán las matemáticas y los programas de computadora para convertir la descripción en objetos animados. Esta fase no debería de ser complicada ni tardada, sin embargo debido al desconocimiento de los lenguajes de programación o de las plataformas especializadas, esta fase puede ser compleja. Es importante aprovechar la existencia de plataformas especializadas para ahorrar tiempo.
5. *Analizar, probar y revisar el modelo*: esta es la fase que debe consumir más tiempo y demandar mayor atención, puesto que se debe buscar aprender del modelo y extrapolar esos conocimientos y explicaciones al mundo real.

### El protocolo ODD

Fue creado originalmente para describir, de manera estandarizada, los modelos basados en agentes [33]. El objetivo del protocolo es que la descripción sea completa, rápida, fácil de entender y organizada de tal forma que el orden sea consistente. Por estas razones se ha determinado utilizarlo, además de que está orientado al estudio de fenómenos complejos. El protocolo consta de las siguientes partes:

- Resúmen
  - *Propósito*: declaración clara y concisa de la pregunta o problema planteado con el modelo; qué sistema se está modelando y qué se pretende aprender de él. El propósito es importante porque es imposible tomar cualquier decisión sobre los elementos que conforman el sistema si no se sabe primero para qué está hecho.
  - *Entidades, variables de estado y escalas*: se busca dar una idea rápida del modelo, incluyendo las entidades o variables y una pequeña descripción de cuál es su función o una justificación de por qué se encuentra en el modelo.
  - *Resumen de procesos y planeación*: los elementos anteriores se enfocan en la estructura estática del sistema y en esta parte se tratará la parte dinámica, que son todos aquellos procesos que cambian el estado de las variables. Para este paso es importante haber realizado la especificación de las entidades del modelo, pues los procesos deben describir las actividades que llevarán a cabo cada una de ellas. Una vez realizada esta descripción se debe especificar la planeación de dichos procesos, es decir, el orden en que éstos serán ejecutados.
- Conceptos de diseño

Son características del comportamiento del sistema que se busca estandarizar para que sea más sencillo observarlas. No es necesario que estén presentes en todos los modelos pero si es importante considerarlos y mostrar cuáles de las características no se emplearán en él.

  - *Emergencia*: se debe describir qué resultados aparecerán como efecto de comportamientos adaptativos de los elementos que componen al sistema, así como también aquellos que son impuestos por las reglas que establecen la dinámica del sistema.

- *Adaptación*: se tiene que detallar si los componentes se pueden adaptar como resultado de sus respuestas a cambios del ambiente o de ellos mismos. Si es así, también se detallará como son estos comportamientos, ya sea porque los elementos tiene la oportunidad de elegir entre alternativas o porque la dinámica trata de replicar algún fenómeno observado en sistemas reales.
- *Objetivos*: es importante definir la medida que los componentes usan para tomar decisiones entre posibles alternativas y qué tan detalladas y realistas son éstas.
- *Aprendizaje*: se describe la forma en cómo los elementos cambian sus comportamientos adaptativos conforme pasa el tiempo como consecuencia de su experiencia, si es que realmente lo hacen.
- *Predicción*: si es que los elementos logran predecir condiciones futuras a través de sus comportamientos se debe describir la forma en cómo lo hacen.
- *Detección*: aquí se agruparán las variables que los elementos deben considerar para desempeñar otras características como la adaptación o el aprendizaje.
- *Interacción*: la interacción entre los elementos de un sistema se puede dar de dos formas, directa o indirectamente, a través de comportamientos o mediante otros elementos.
- *Estocasticidad*: hay que declarar si existen procesos estocásticos dentro de la dinámica que sigue el sistema y la razón por la que están ahí. Si es para inicializar el modelo, para realizar algunos procesos variables, y si esta variabilidad está ligada a alguna representación empírica probabilística.
- *Colectivos*: se debe declarar si existen anexiones de elementos que afecten el estado y comportamiento del sistema, de otros elementos y de los elementos dentro de esta incorporación. También hay que especificar la forma en cómo son representados.
- *Observación*: en esta sección se detallan aquellas variables en las que se puede observar la salida del sistema. Se debe especificar si existen gráficas, conjuntos de datos, tablas o archivos de salida en donde se concentre información útil para observar esas salidas.
- **Detalles**
  - *Inicialización*: se debe describir cómo establecer las variables del modelo al inicio de una simulación ya que en muchos casos los resultados del modelo serán dependientes de las condiciones iniciales. Para que el modelo y sus resultados sean reproducibles se tienen que especificar los valores de cada una de las variables y entidades del modelo.
  - *Datos de entrada*: en muchos casos existen variables cuyos valores cambian con el tiempo y no son simulados dentro del sistema sino que son leídas desde alguna fuente externa, como podría ser un archivo. Estas variables pueden confundirse con inicializaciones, pero su principal diferencia es que –en la mayoría de los casos- se trata de datos históricos o datos que deben ser alimentados al modelo

de forma constate durante su ejecución, a diferencia de las inicializaciones que sólo se alimentan en una ocasión.

- *Submodelos*: todo lo anterior sirve para establecer la forma del sistema, en esta sección se continúa con la descripción detallada de todos aquellos procesos mayores. Con el fin de hacer reproducible al modelo se deben escribir todas las ecuaciones, reglas lógicas y algoritmos que lo constituyen, así como el por qué se determinaron así los submodelos.

## **4.2 Aplicación del Ciclo de Modelado**

### Formulación de preguntas

La pregunta en este caso es: ¿Cuáles son los elementos involucrados en un sistema socioeconómico que son determinantes para lograr un buen desarrollo económico? Una justificación amplia de esta pregunta ya fue tratada en el Capítulo 2.

### Hipótesis

Un marco teórico apropiado fue elegido en el segundo Capítulo, el cual motivó la elección de una serie de categorías consideradas importantes, se especificó su dinámica y finalmente se sugirieron cuatro modelos conceptuales que constituyen la hipótesis sobre la forma en cómo estas categorías interactúan entre sí para dar lugar a un mejor o peor desempeño económico.

### Protocolo ODD

Propósito: Encontrar aquellas variables que son importantes para lograr un buen desarrollo económico.

Variabes: Las variables ya fueron revisadas, junto con su interacción, en el Capítulo 2, por lo que en las siguientes Tablas sólo se indicará el nombre de la variable y su tipo.

**TABLA 1. Identificación de variables del Meta-nivel**

<b>NOMBRE DE LA VARIABLE</b>	<b>TIPO</b>
Límites institucionales definidos	Variable de Entrada
Disposición al diálogo democrático	Variable de Petri
Flexibilidad de adaptación	Variable de Entrada
Capacidad de auto-organización	Variable de Entrada
Integración social	Variable de Petri
Capacidad de interacción	Variable de Petri
Consenso en la inserción en el mercado mundial	Variable de Petri
Valoración del largo plazo	Variable de Entrada
Coincidencia en el rumbo de las transformaciones necesarias	Variable de Petri
Gasto en infraestructura	Variable de Salida
Gasto en servicios	Variable de Salida

**TABLA 2. Identificación de variables del Meso-nivel**

<b>NOMBRE DE LA VARIABLE</b>	<b>TIPO</b>
Política de apoyo a la producción y a las exportaciones	Variable de Entrada
Gobiernos locales	Variable de Petri
Asociaciones de industriales	Variable de Petri
Asociaciones sindicales	Variable de Petri
Consejos estatales de ciencia y tecnología	Variable de Petri
Sector académico público	Variable de Petri
Sector académico privado	Variable de Petri
Estímulos fiscales	Variable de Petri
Subsidios	Variable de Petri
Apoyos a las PyMEs	Variable de Petri
Información de mercadotecnia y promoción	Variable de Petri
Identificación de ventajas competitivas en nichos	Variable de Petri
Ventajas competitivas en salarios	Variable de Petri
Ventajas competitivas en capacitación	Variable de Petri
Políticas laborales colaborativas	Variable de Petri
Fomento a la I&D	Variable de Petri
Fomento a la formación de recursos humanos	Variable de Petri
Formación de recursos humanos	Variable de Petri
I&D básica y aplicada	Variable de Petri
Formación de recursos 2	Variable de Petri
I&D aplicada	Variable de Petri
PyMEs	Variable de Salida
Centros I&D	Variable de Salida
Con 1	Variable de Control

**TABLA 3. Identificación de variables del Micro-nivel**

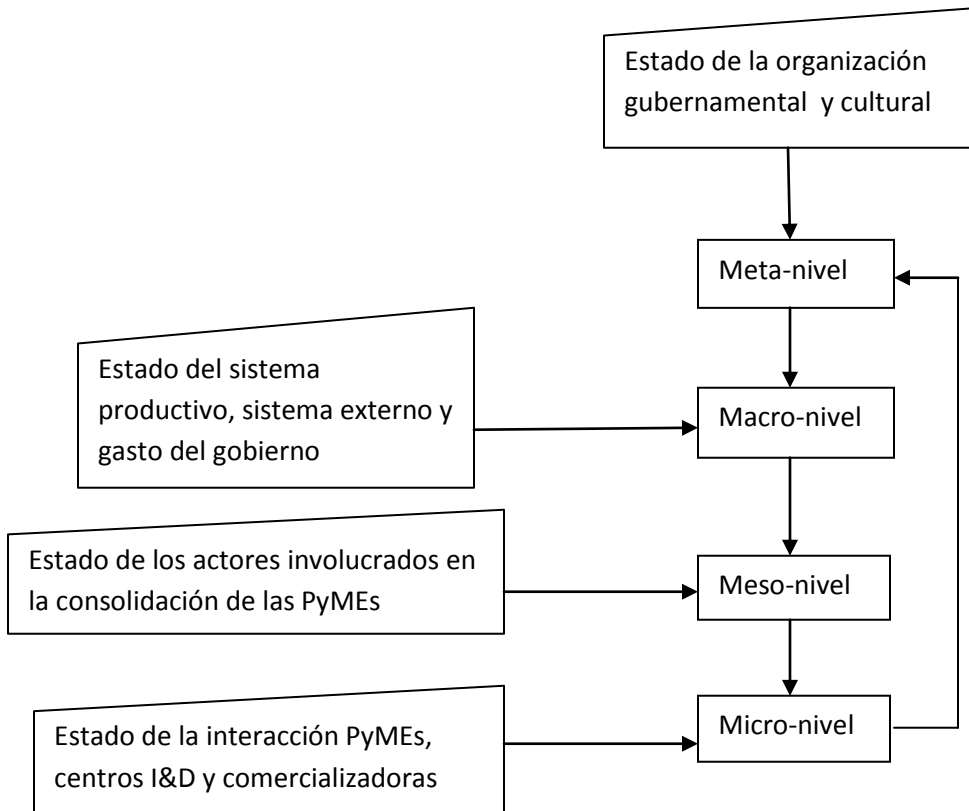
<b>NOMBRE DE LA VARIABLE</b>	<b>TIPO</b>
Pymes	Variable de Entrada
Centros I&D	Variable de Entrada
Clusters de industriales con bancos	Variable de Entrada
Instituciones y empresas de comercialización	Variable de Entrada
Productividad del capital	Variable de Petri
Productividad del trabajo	Variable de Petri
Calidad ISO	Variable de Petri
Flexibilidad	Variable de Petri
Capacidad de respuesta innovativa	Variable de Petri
Reorganización logística	Variable de Petri
Reorganización de equipos de trabajo	Variable de Petri
Digitalización de la producción	Variable de Petri
Aprendizaje interactivo con empresas	Variable de Petri
Contacto con el mercado	Variable de Petri
Proyectos orientados a problemas de las empresas y estímulos del mercado	Variable de Petri
Redes de proveedores y clientes	Variable de Petri
Financiamiento a productores	Variable de Petri
Financiamiento a la exportación	Variable de Petri
Asesoría técnica a PyMEs	Variable de Petri
Servicios de información	Variable de Petri
Modernización de empaque y embalaje	Variable de Petri
Contratación de estudios	Variable de Petri
Demanda y promoción de infraestructura de exportación	Variable de Petri
Competitividad	Variable de Salida



**TABLA 4. Identificación de variables del Micro-nivel**

<b>NOMBRE DE LA VARIABLE</b>	<b>TIPO</b>
Competitividad	Variable de Entrada
Demanda	Variable de Estado
Producción	Variable de Estado
Formación de capital	Variable de Estado
Consumo intermedio	Variable de Estado
Consumo final	Variable de Estado
Exportaciones	Variable de Estado
Importaciones	Variable de Estado
Empréstitos extranjeros	Variable de Estado
Impuestos al consumo	Variable de Estado
Cobro de servicio	Variable de Estado
Impuestos a la producción	Variable de Estado
Reservas del gobierno	Variable de Estado
Gasto en infraestructura	Variable de Salida
Gasto en servicios	Variable de Salida
Gasto social	Variable de Salida
Inversión	Variable de Estado Auxiliar
Entrada gasto en infraestructura	Variable de Entrada
Entrada gasto en servicios	Variable de Entrada
Entrada gasto social	Variable Auxiliar
Entrada empréstitos extranjeros	Variable Auxiliar
Porcentaje impuestos a la producción	Variable Auxiliar
Porcentaje de cobro de servicios	Variable Auxiliar
Porcentaje de impuestos al consumo	Variable Auxiliar
Porcentaje de consumo intermedio	Variable Auxiliar
Porcentaje producción de capital	Variable Auxiliar
Porcentaje importaciones finales	Variable Auxiliar
Porcentaje exportaciones	Variable Auxiliar
Entrada importaciones	Variable Auxiliar

Resumen de procesos y planeación: Los procesos del modelo fueron descritos con detalle en el Capítulo anterior y buscan determinar qué tan desarrollada esta una economía, al concentrarse en definir el estado de la competitividad de la región, de acuerdo al estado que tengan sus variables. Los niveles ejecutan sus procesos de acuerdo al siguiente diagrama de flujo.



**Emergencia:** Este sistema tiene como objetivo explorar dos fenómenos emergentes: la competitividad y el desarrollo económico. El primero se encuentra directamente ligado a las reglas de interacción, mientras que el segundo puede aparecer dependiendo de los valores de las variables, principalmente de las del macro-nivel.

**Adaptación:** Los elementos del sistema presentan una ligera capacidad de adaptación en el sistema de producción ubicado en el macro-nivel pues, como en una economía real, la producción y las necesidades de la región (consumo final) deben mantenerse y en este caso lo hacen mediante la exportación, para el caso de la producción, y mediante la importación, para el caso de las necesidades.

**Objetivos:** El objetivo del sistema sería aumentar los niveles de competitividad, sin embargo debido a su estructura, los actores que intervienen en este proceso no pueden alcanzar ese objetivo por sí solos. Pocas modificaciones tendrían que hacerse para que los actores tuvieran dicha posibilidad mediante la toma de decisiones.

**Aprendizaje:** Los elementos del sistema no cambian su comportamiento al pasar el tiempo, por lo que se puede determinar que el sistema no realiza ningún aprendizaje.

**Predicción:** En este sistema los actores participantes no son capaces de realizar predicciones sobre las condiciones futuras que habrá en el sistema o en partes de él.

**Detección:** Los actores, al no poder alcanzar objetivos, tampoco pueden detectar su entorno y cambiar así su comportamiento.

**Interacción:** En este sistema existe interacción local y global. La interacción local tiene lugar al interior de los niveles donde la dinámica de sus variables determina la aparición de elementos necesarios para aumentar la competitividad del sistema global, mostrando así el nivel de desarrollo que tendrá la economía.

**Estocasticidad:** El único proceso estocástico que llega a ocurrir en el sistema es si se da el caso de que en el meta-nivel no ocurra una coincidencia en el rumbo de las transformaciones necesarias, en cuyo caso se asignarán valores aleatorios para la distribución de las reservas del gobierno.

**Colectivos:** Los colectivos de actores ya se definieron como subsistemas dentro de los niveles cuya dinámica está definida por la forma en cómo están agrupados estos subsistemas.

**Observación:** Las salidas que deben observarse son la producción, la demanda, las importaciones, las exportaciones y la inversión.

**Inicialización:** Cada uno de los niveles debe ser inicializado de distinta forma, de acuerdo a su implementación, por lo que será especificado cuando se llegue a ese paso.

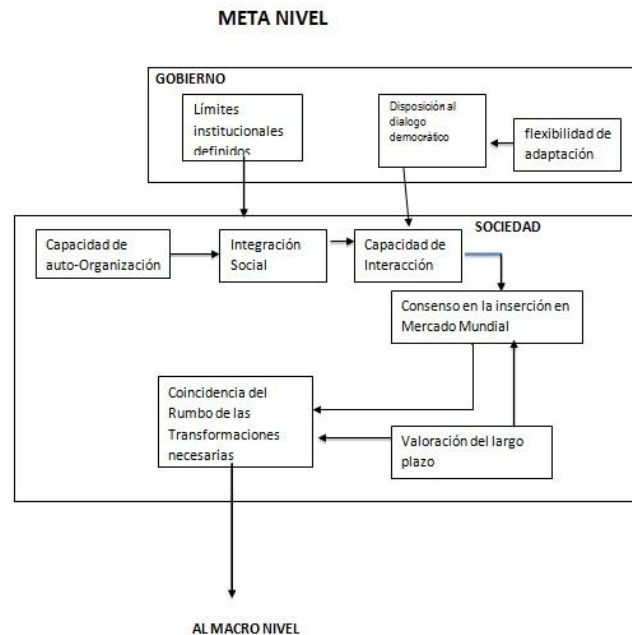
**Datos de entrada:** El sistema no utiliza datos en su funcionamiento más que aquellos que son dados en su inicialización.

**Submodelos:** Los submodelos que se pueden encontrar son cada uno de los niveles cuyos esquemas, dinámicas y variables ya fueron revisados en Capítulos anteriores.

### Implementación

Ahora se revisará cómo implementar cada uno de los niveles para conformar el sistema.

## Meta-nivel



**Fig. 1**

Es conveniente recordar que el meta-nivel es, en este caso, el modelo menos complejo, pues no tiene tantas variables y su dinámica es -hasta cierto punto- lineal. Al pretender un acercamiento y conocer un poco más de la dinámica de los sistemas complejos, se ha optado por elegir el enfoque de las redes de Petri para implementar este modelo.

Para iniciar la modelación se debe determinar, en forma precisa, los tipos de variables que se tendrán y a qué tipo pertenece cada una de las que consta el modelo. Al optar por las redes de Petri como enfoque de modelación se puede tener: variables de entrada, variables de salida y variables de Petri. Todas estas caen bajo el concepto de “lugares”, si se utilizan conceptos propios de estas redes.

Revisando las variables de este nivel (Tabla 1) se observa que al modelo final se han agregado dos variables que en la Tabla aparecen separadas de las otras con la intención de que sea fácil identificarlas. Éstas se han adicionado pues la salida de este nivel va hacia el macro-nivel, estas variables hacen de puente entre ambos niveles, ya que si existe una coincidencia en el rumbo de las transformaciones éstas se harán patentes en la repartición del presupuesto del gobierno.

Una vez que se tienen las variables que van a dar estructura a la red se implementa el modelo en una plataforma computacional. Para este fin se tienen dos opciones: la primera es crear una plataforma utilizando algún lenguaje de programación que se domine; los algoritmos y forma de operar fueron descritos en el Capítulo 1. Esta opción tiene la ventaja de que permitirá que se moldee la implementación de acuerdo a la preferencia del diseñador, sin embargo tendrá la

desventaja de requerir mucho más tiempo, pues se tendrán que afrontar problemas propios de la programación. Para evitar todas esas complicaciones, y sobre todo ahorrar tiempo, se optó por la segunda opción que es utilizar una plataforma ya desarrollada, la cual tiene las ventajas de que está lista para comenzar la implementación, tiene una interfaz gráfica que facilita su utilización y al estar liberada garantiza que prácticamente no tendrá errores al ejecutar el modelo. Como desventaja se tiene que a veces se tendrá que ajustar el modelo según las capacidades que ofrezca la plataforma.

La plataforma a utilizar es Petri.NET Simulator en su versión 2.0, el meta-nivel se ve así en su interfaz gráfica:

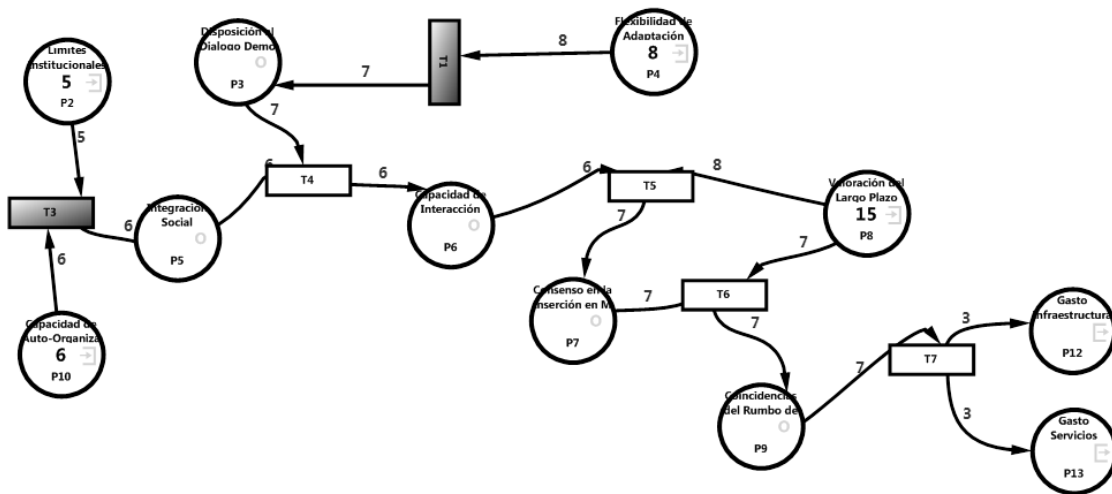


Fig. 2

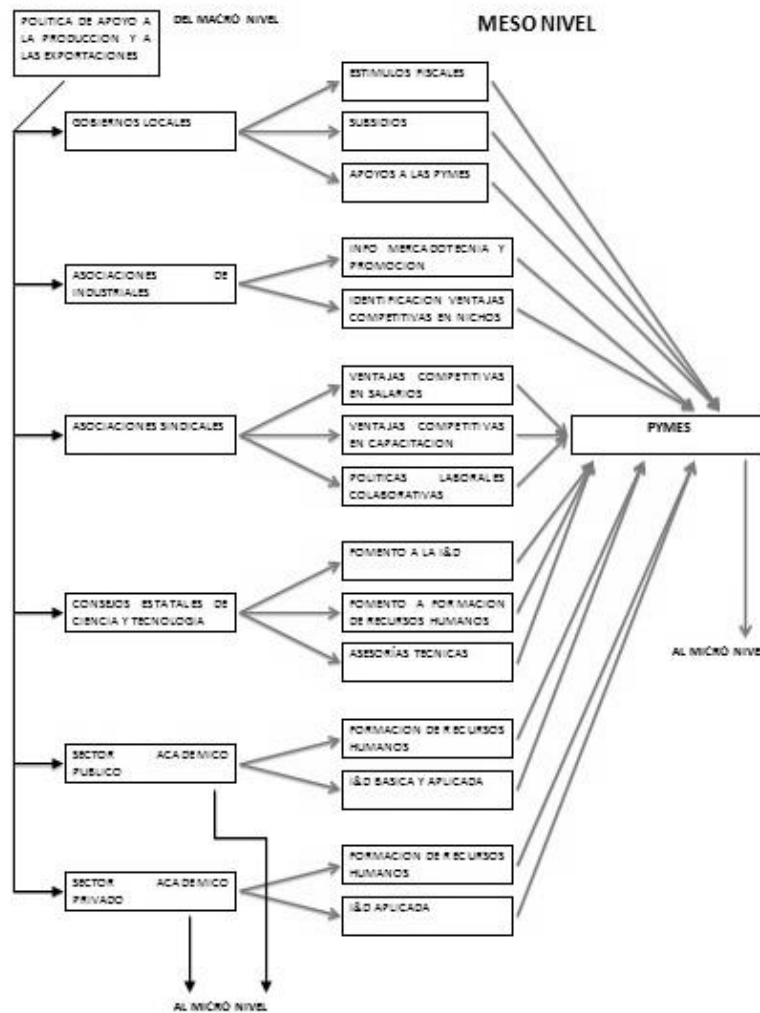
Esta plataforma permite colocar pesos entre las transiciones y los lugares, así como colocar fichas o marcas sobre los lugares, sin embargo tiene como desventaja que sólo permite valores enteros para los pesos. Los pesos y fichas que se asignan antes de correr la simulación serán la inicialización del sistema.

Para esta plataforma, los pesos que salen de los lugares a las transiciones son las cantidades de fichas que necesita esa transición para disparar, mientras que los pesos que van de las transiciones a los lugares son las cantidades de fichas que disparan y por lo tanto serán las fichas que lleguen al siguiente lugar. Las transiciones no dispararán si todos sus lugares de entrada no tienen la cantidad de fichas que indica el peso correspondiente. Si un lugar tiene dos o más transiciones y la cantidad de fichas es suficiente para disparar todas sus transiciones, dispararán dando como posibilidad de que si la suma de estos pesos excede la cantidad de fichas, aparecerán números negativos de fichas en las variables de Petri.

Bajo estas condiciones los pesos de entrada a las transiciones serán los porcentajes mínimos necesarios que deben alcanzar las variables de Petri para producir un determinado porcentaje de la variable que está a la salida de la transición. Estos valores, al no poder ser decimales, estarán codificados de tal forma que por cada ficha se contará un 10% para esa variable.

Así, tomando como ejemplo la imagen anterior, se tiene un 50% de límites institucionales establecidos y un 60% de capacidad de auto-organización; son los mínimos indispensables para activar la transición y generar un 60% de integración social.

*Meso-nivel*



**Fig. 3**

El siguiente sistema en dificultad es el meso nivel, pues tiene más variables que el nivel anterior y una dinámica mucho más compleja, aunque de inicio no lo parezca. En este caso la abundancia de variables cuyos valores serían de tipo cualitativo y la estructura paralela de su dinámica, hacen de

las redes de Petri el mejor enfoque para realizar la implementación y analizar resultados. Al igual que el nivel anterior la identificación de las variables puede verse en la Tabla 2.

Para este caso únicamente se tuvo que agregar una variable de control, debido a la forma en cómo son consumidas las fichas al correr el sistema, las variables de ambos sectores académicos deben disparar hacia las variables del sistema y hacia el micro-nivel. Para evitar confusiones al correr el sistema se colocó la variable de control (Con1) que ayuda a duplicar las salidas de estas variables para que no haya problemas con las demás interacciones.

La implementación puede verse a continuación.

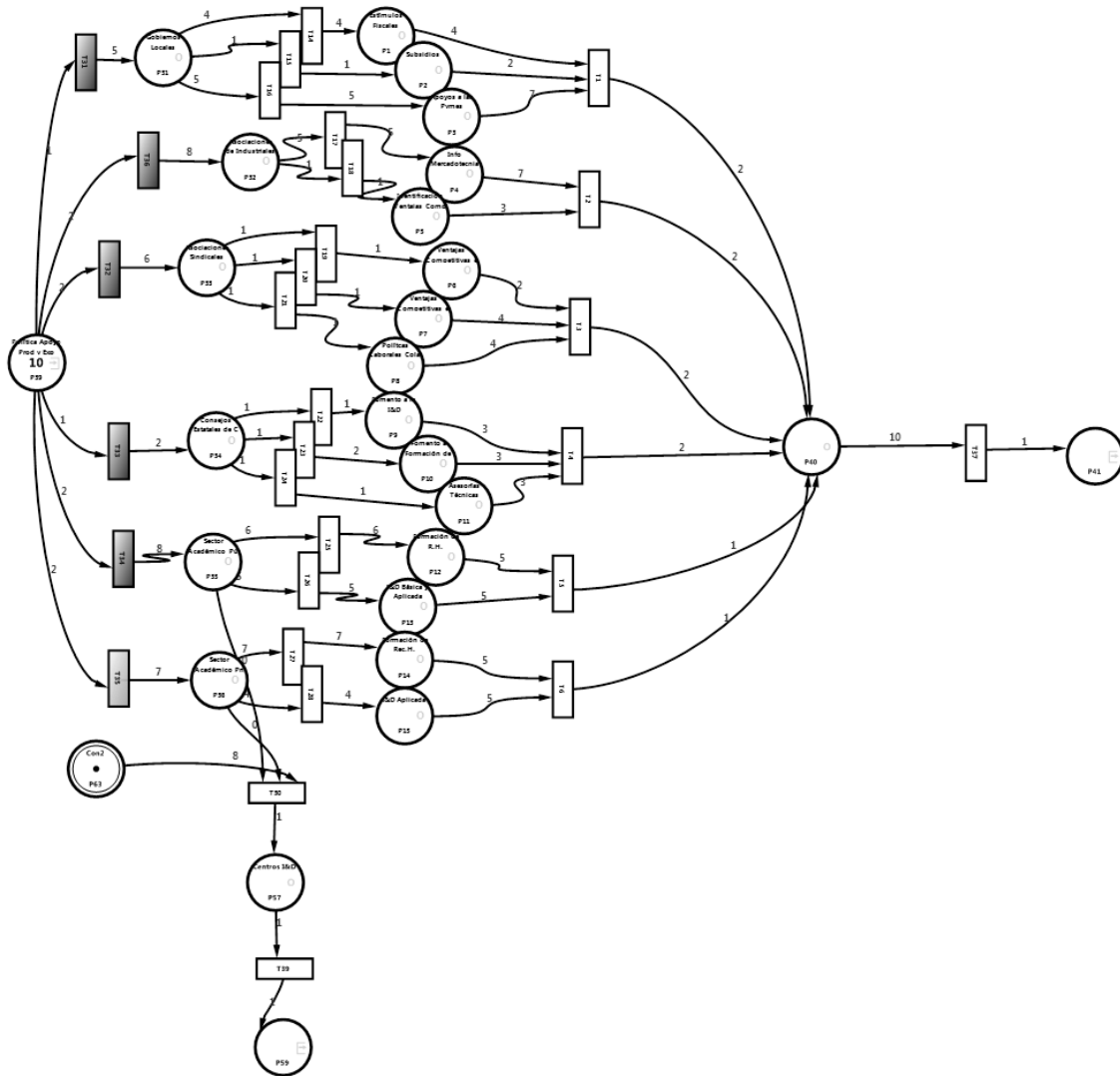


Fig. 4

Se puede observar que en la entrada se tiene un porcentaje del dinero que se utilizó en las políticas de apoyo. Éste debe distribuirse entre seis rubros diferentes. Los pesos que van a la primera capa de transiciones representan el porcentaje del dinero recibido que se utilizará para el rubro correspondiente. La capa de pesos que van hacia la primera capa oculta de lugares, representa el porcentaje de afectación, positiva o negativa según sea el peso, que tendrá esa cantidad de dinero hacia el rubro que le corresponde. En la imagen se observa que se asignará un total del 20% de los recursos para apoyar a los Consejos Estatales de Ciencia y Tecnología, lo que para el estado en el que se encuentran, representa sólo el 20% del apoyo que necesitan.

De esta forma la primera capa oculta de lugares obtendrá fichas equivalentes al apoyo que recibieron. Estos lugares representan a diferentes actores, los pesos que van de ellos hacia la segunda capa de transiciones representan el porcentaje de apoyo que necesita recibir uno de los rubros a cargo de dicho actor para poder trabajar a favor de la consolidación de las PyMEs. La segunda capa de transiciones dispara una cantidad de fichas equivalentes al nivel de apoyo que produce un determinado actor al recibir los recursos necesarios para hacer funcionar dicho rubro. Así se observa que los consejos necesitan un 10% de apoyo para hacer funcionar una de sus actividades, por ejemplo, el Fomento a la I&D. Pero dadas las circunstancias en las que se hallan estas actividades producirán sólo 20% para tal actividad.

La segunda capa oculta acumula las fichas recibidas hasta que alcanzan la cantidad indicada por el peso que va de ellas a la tercera capa de transiciones, este peso representa el nivel de activación que necesita acumular dicha tarea para así poder enviar una cantidad de sinergia necesaria para que la consolidación de las PyMEs alcance el siguiente nivel que vendrá a modificar la asignación de los pesos. Debido a la estructura de la red, la sinergia proviene de que las tareas de un actor alcancen un nivel determinado y al obtener, todas ellas, un el valor mínimo dispararán. Por ejemplo, el lugar que representa el Fomento a la I&D acumulará fichas hasta juntar un 30%, pero solamente hasta que las otras actividades, Fomento a la formación de recursos humanos y Asesorías técnicas, alcancen también un 30% podrán empujar un 20% la consolidación de las PyMEs.

Cuando la variable de PyMEs alcance su 100% disparará una variable que indicará que se ha alcanzado este objetivo. Esta variable se agregó a este modelo sólo para visualizar mejor los resultados.



Micro-nivel

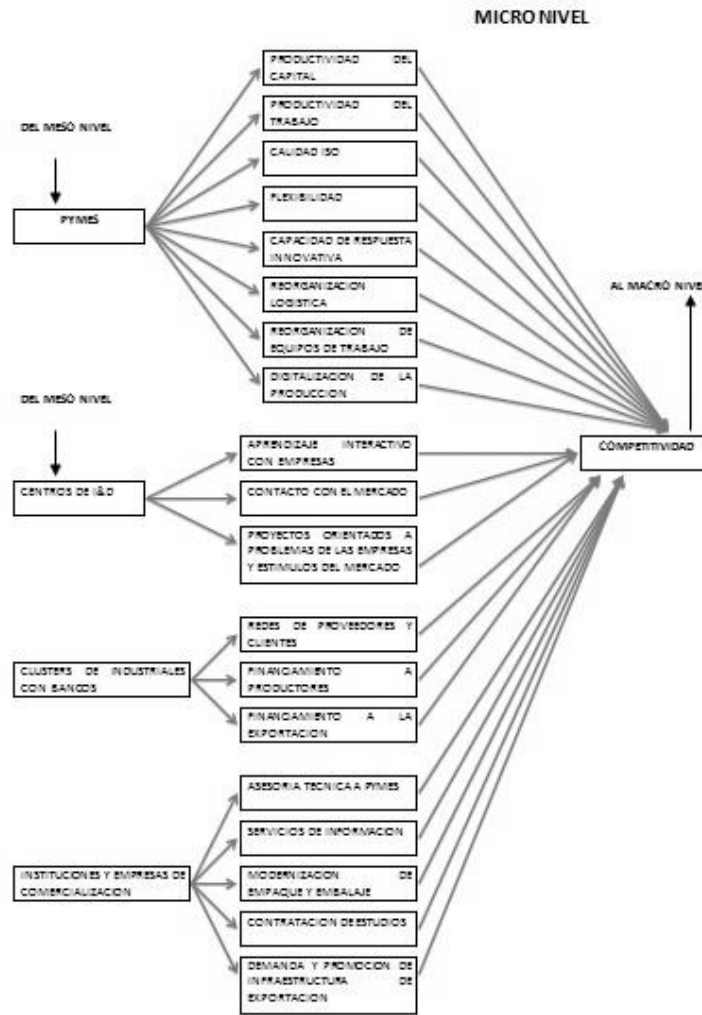
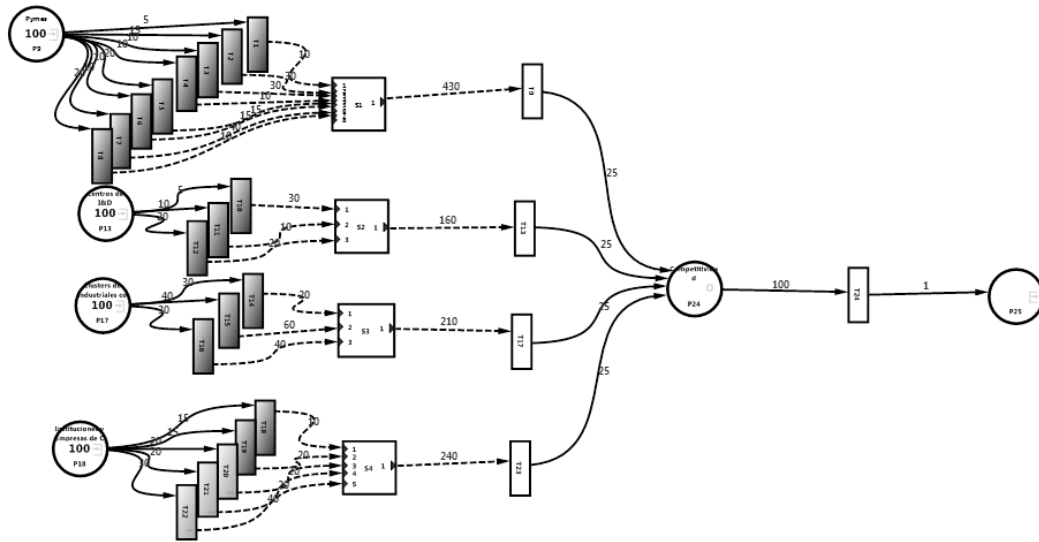


Fig. 5

Este sistema es muy similar en su estructura al sistema del meso-nivel, con la salvedad de que los actores involucrados no son afectados por una variable en común. Por esta razón se utilizarán las redes de Petri como enfoque de implementación. Para observar sus variables se puede consultar la Tabla 3.

La implementación es la siguiente.



**Fig. 6**

Se puede apreciar que la gran capacidad de variables que tiene este nivel fue manejado en la interfaz gráfica de la plataforma mediante su función de creación de subsistemas, que permite englobar una gran cantidad de elementos dentro de los pequeños cuadrados que se observan.

En esta implementación se utiliza una gama más amplia de porcentajes, por lo que se codificará cada ficha como un 1%. Las fichas de entrada representan la efectividad que deben tener los actores para poder realizar las tareas que deben cumplir con el fin de fomentar su competitividad.

Estas tareas requieren determinada cantidad de efectividad por parte de los actores, que es representada por los pesos que van de las entradas hacia la primera capa de transiciones. Estas disparan una cantidad de fichas representando la efectividad con que los actores realizan una tarea en particular.

Los lugares que representan las tareas acumulan fichas que simulan el nivel de realización que se tiene hasta el momento. Los pesos que van de estos lugares a la segunda capa de transiciones simbolizan el nivel de realización que deben tener estas tareas para que, una vez que todas las alcancen su nivel mínimo, estas transiciones disparen el porcentaje de la competitividad que de ellas depende para que ésta alcance un nuevo nivel.

Macro-nivel

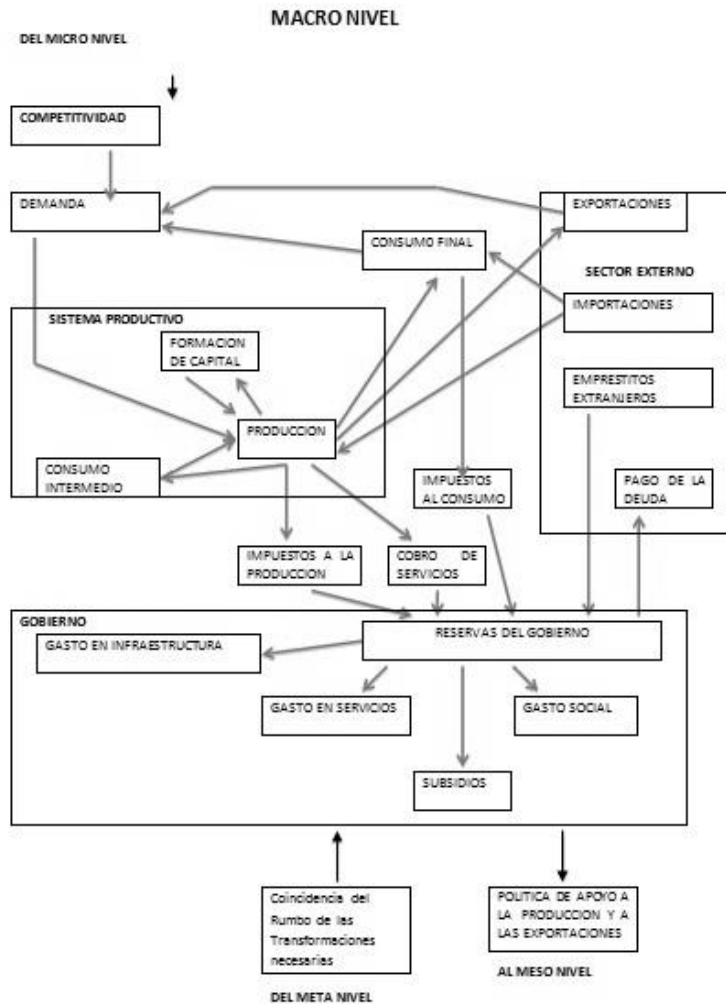


Fig. 7

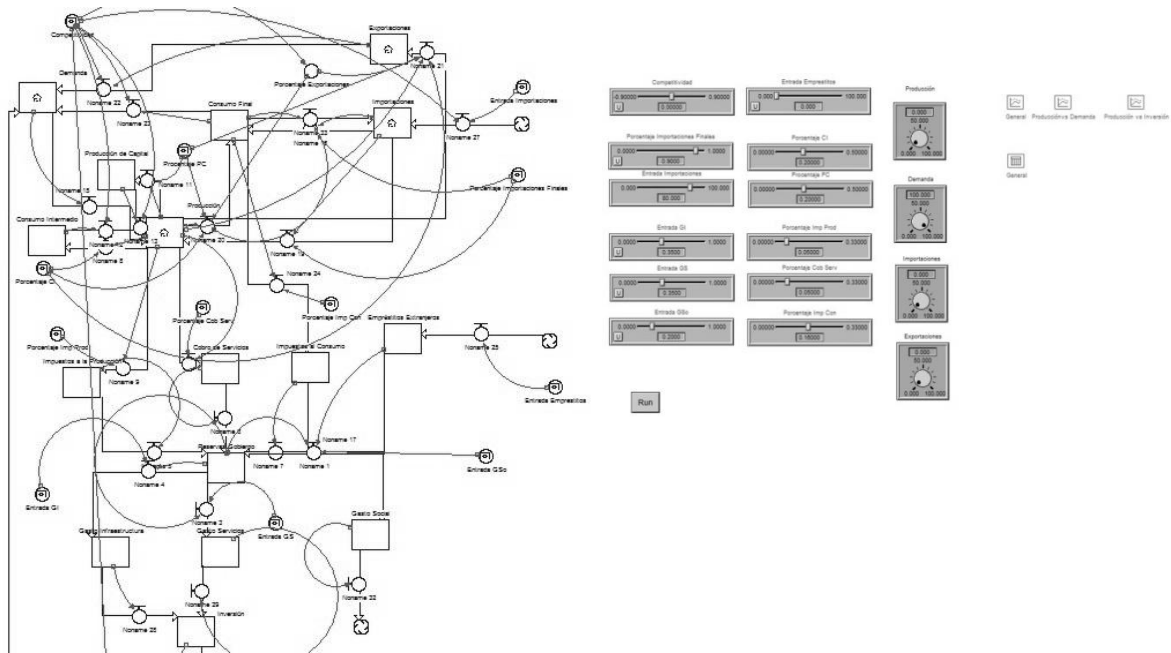
El último nivel que se verá es el que presenta mayor complejidad en su dinámica, el Macro-nivel. Como se puede observar en su diagrama, la estructura es muy diferente a las observadas en los modelos anteriores; se tienen variables enlazadas entre sí mismas de forma directa y también de forma indirecta, a través de caminos que incluyen a más variables. Estos caminos refieren a los lazos de retroalimentación que aparecen en el enfoque de dinámica de sistemas y al haber utilizado el enfoque sistémico para crearlos, será el utilizado para la implementación.

Al emplear el enfoque de dinámica de sistemas, los tipos de variables a utilizar tendrán algunos cambios. De la misma forma que en las redes de Petri, aquí también se observan variables de entrada y variables de salida, en lugar de variables de Petri ahora se incluirán variables de estado que se encargarán de almacenar los diferentes estados por los que transita el sistema, precisamente de ahí viene su nombre. También se incluirán algunas variables auxiliares que permitirán manipular cierta información del sistema.

Como puede verse en el listado de variables de la Tabla 4 se agregaron una gran cantidad de variables auxiliares, cuya función es almacenar algunas constantes necesarias para el funcionamiento del modelo; también se adicionaron variables de entrada para poder ingresar datos al modelo y finalmente se colocó una variable de estado auxiliar para crear una retroalimentación y que el modelo pudiera simular de manera continua, de lo contrario todo el flujo de información que se suministrará se vaciaría de las variables y se acumularía sólo en las variables de salida. También se agregó una conexión del consumo final a las importaciones para que la cantidad de consumo final retroalimentara la cantidad de importaciones para el siguiente ciclo. Además se eliminaron algunas variables como el pago a la deuda externa para adaptarlo a condiciones que interesa simular.

Para este caso se decidió utilizar la plataforma STELLA en su versión 7.0.1 debido a que es sumamente robusta para implementar modelos de dinámica de sistemas. Posee varias capas en su interfaz gráfica donde provee elementos para construir el mapa del modelo como inventarios que, en este caso, funcionarán como variables de estado, convertidores donde se pueden almacenar variables auxiliares o de entrada y flujos para conectar las variables. Posee otra capa en la que, una vez creado el mapa del modelo, se pueden colocar las ecuaciones de la dinámica del sistema. Por último la capa de interfaces permite la creación de una interfaz para que personas sin conocimientos de la modelación o de la implementación, puedan modificar valores de algunas variables y observar los resultados de las corridas del modelo.

En la siguiente imagen se aprecia la forma en que quedó la implementación del modelo y su interfaz.



**Fig. 8 Modelo (izquierda) e interfaz (derecha)**

En esta implementación se colocarán valores numéricos en cuatro de las variables de estado: producción, demanda, importaciones y exportaciones. Para iniciar el modelo estos valores estarán dentro de un rango que va de 0 a 100. Una vez que el modelo comience a correr, estos valores no podrán ser modificados por la interfaz.

En la interfaz se han colocado otras doce variables que pueden ser modificadas, varias de ellas son variables auxiliares (porcentaje de importaciones finales, porcentaje impuestos a la producción, porcentaje cobro de servicios, porcentaje de impuestos al consumo, entrada gasto social, porcentaje productividad del capital, porcentaje consumo intermedio, entrada importaciones, entrada empréstitos extranjeros) y otras son variables de entrada, como la competitividad, que es una variable que viene del micro-nivel, Entrada gasto en infraestructura y Entrada gasto en servicios son variables cuyo valor viene determinado por el meta-nivel. Éstas pueden modificarse mientras el modelo se encuentra corriendo una simulación y se hicieron así para poder experimentar con éste y observar su la reacción en los resultados.

### 4.3 Resultados

En esta sección se realizarán algunas corridas de escenarios en los modelos y se analizarán los resultados obtenidos.

## Meta-nivel

### *Escenario 1*

En este escenario se ha pretendido capturar la configuración de una sociedad en vías de desarrollo, como podría ser el caso de México. Se puede ver la configuración de los pesos claramente en la figura 2. Se dejarán sin fichas todas las entradas. La plataforma permite simular entradas que cada cierto tiempo están generando fichas. Se partirá del supuesto de que cada determinado tiempo una de las capacidades del gobierno y/o sociedad van aumentando, así se tendrá que:

Los límites institucionales se definirán más cada 3 unidades de tiempo.

La capacidad de auto-organización aumentará cada 2 unidades de tiempo.

La flexibilidad de adaptación se incrementará cada 4 unidades de tiempo.

La valoración al largo plazo será mayor cada 3 unidades de tiempo.

Ahora se dejará correr la simulación durante mil unidades de tiempo y se analizará lo obtenido.

El primer análisis será de tipo visual. En la figura 9 se puede observar la acumulación de fichas en ciertas variables, esto quiere decir que las variables con las que están compartiendo transición son variables críticas, pues generan cuellos de botella para el libre flujo de la sinergia del sistema, acumulándose ésta en otras zonas. Un claro ejemplo de este fenómeno es la variable de Integración social que acumuló 84 fichas, mientras la Disposición al diálogo democrático no acumuló ninguna. Esto significa que para este caso en particular la Disposición al diálogo democrático es una variable crítica y para mejorar el desempeño del sistema se debe cambiar a los actores del gobierno que hacen que esta situación se dé.

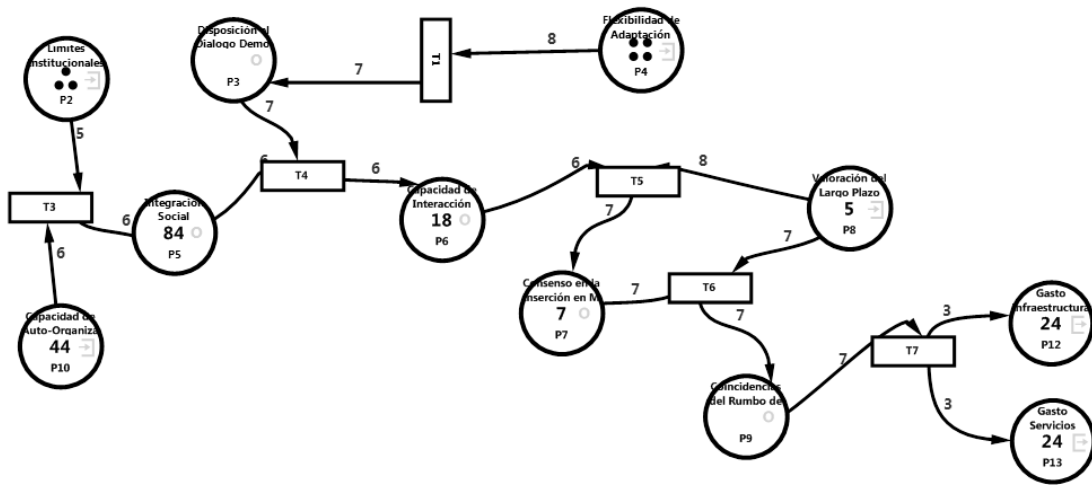


Fig. 9

El programa permite obtener los oscilogramas de las variables, es decir, cómo fueron cambiando las variables conforme pasó el tiempo. Éstos son muy útiles para realizar un segundo análisis.

El oscilograma muestra todas las variables hasta el tiempo 56 (Fig. 10). En él se observa como la Valoración del largo plazo (séptima gráfica de arriba hacia abajo) es una variable crítica, pues el Consenso en la inserción del mercado mundial (octava gráfica), debe esperar para que la primera llegue a un nivel adecuado para poder disparar y activar la Coincidencia del rumbo de las transformaciones necesarias (última gráfica). También se visualiza que el objetivo se logró hasta el tiempo 46.

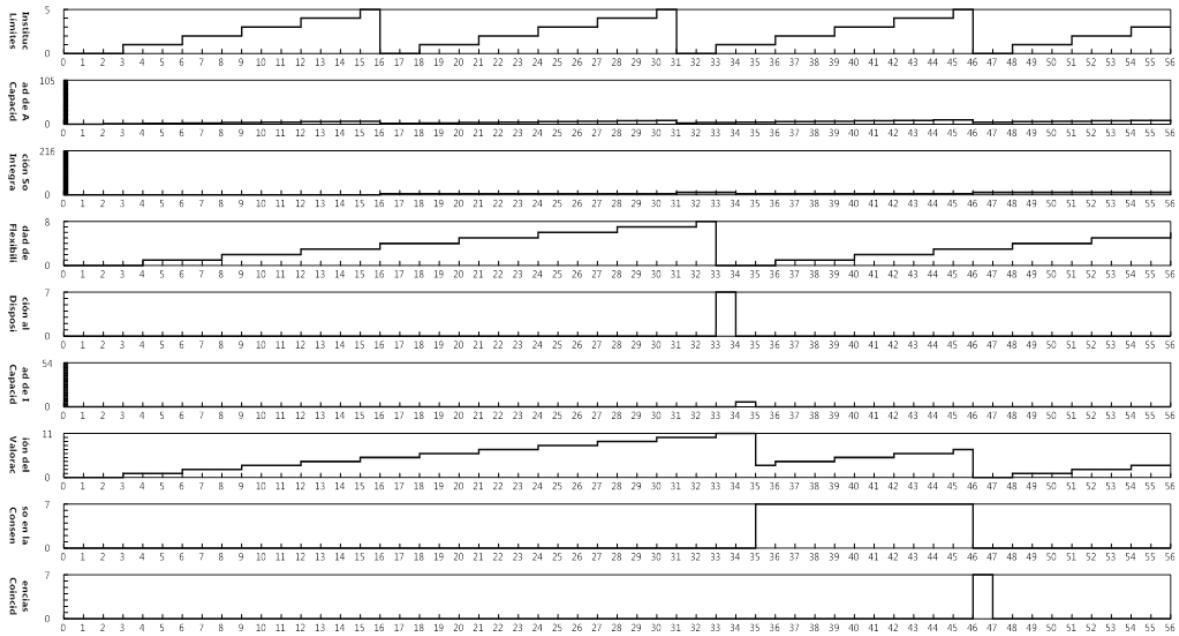


Fig. 10

### Escenario 2

Para el siguiente escenario se mantendrán los pesos pero se partirá de la premisa de que se han realizado los cambios necesarios en materia de flexibilidad de adaptación, teniendo que:

La flexibilidad de adaptación se incrementará cada 2 unidades de tiempo.

Lo demás se mantendrá igual y se analizará qué pasa.

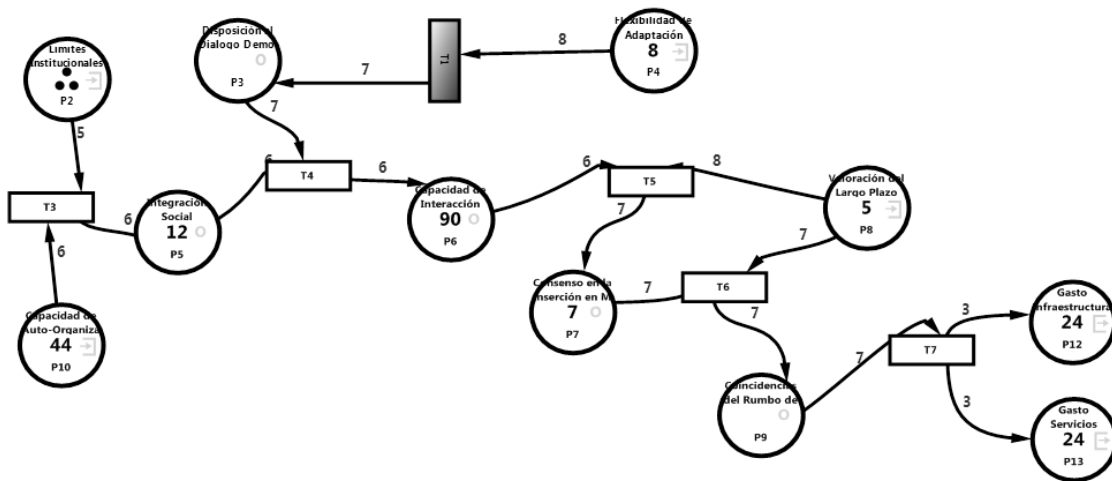
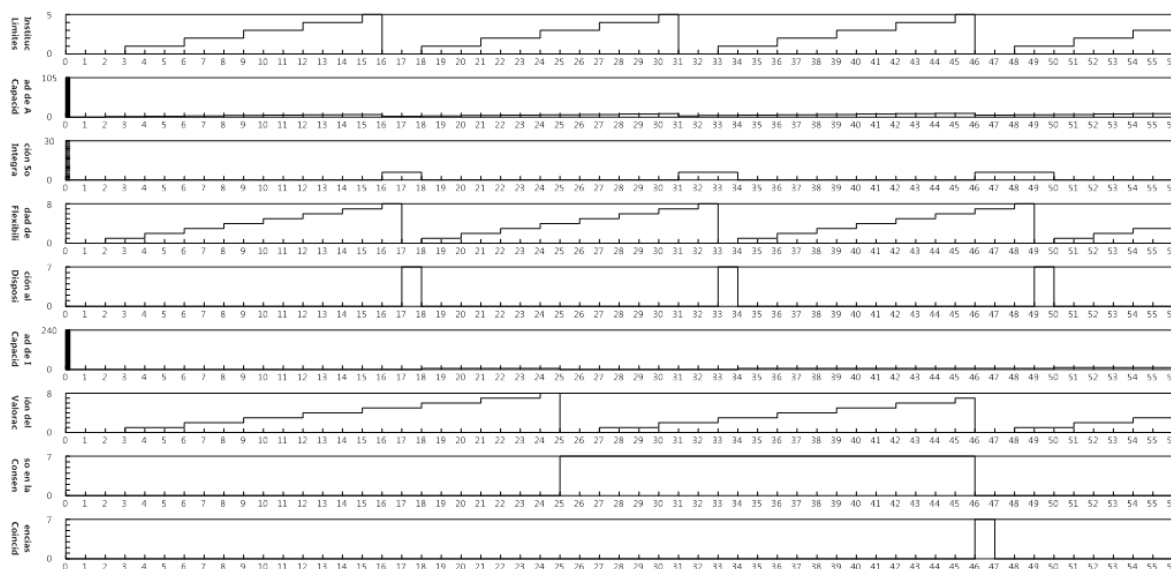


Fig. 11



Se observa que la acumulación en Integración social (Fig. 11) fue mucho menor y en los oscilogramas (Fig. 12) se visualiza que el tiempo de espera del Consenso en la inserción del mercado mundial se hizo más largo. A pesar de todo, el primer disparo de la Coincidencia en el rumbo de las transformaciones necesarias se realizó hasta el tiempo 46.



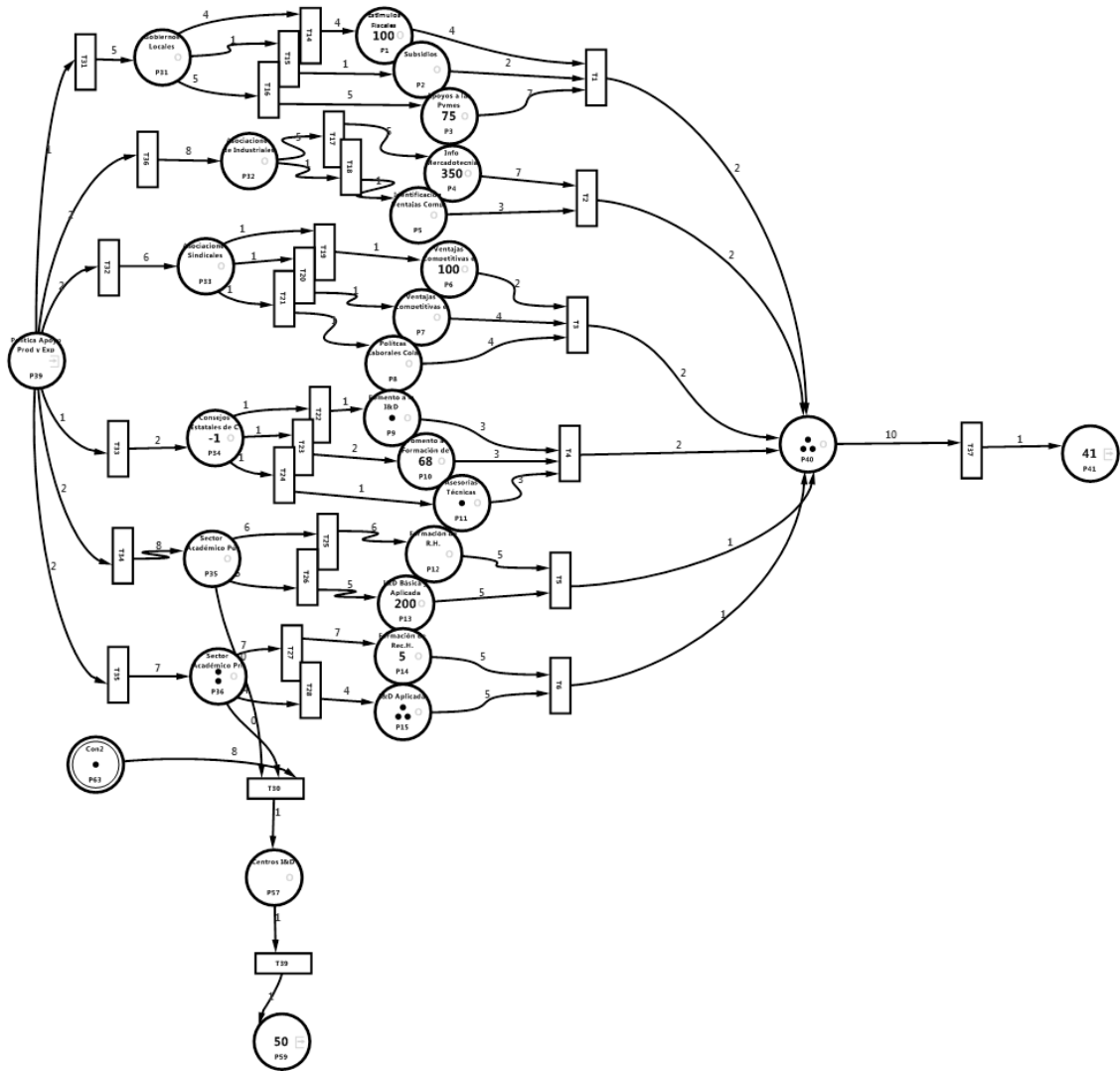
**Fig. 12**

### Meso-nivel

Debido a la naturaleza paralela del modelo para simular, aquí en la entrada se debe imaginar que las PyMEs reciben el apoyo necesario, es decir, un 100% y multiplicarlo por el número de periodos que durará este apoyo. Al final se realiza el análisis gráfico y de eficiencia, identificando la respuesta que tuvo el sistema y comparándola contra el tiempo que se mantuvo la entrada.

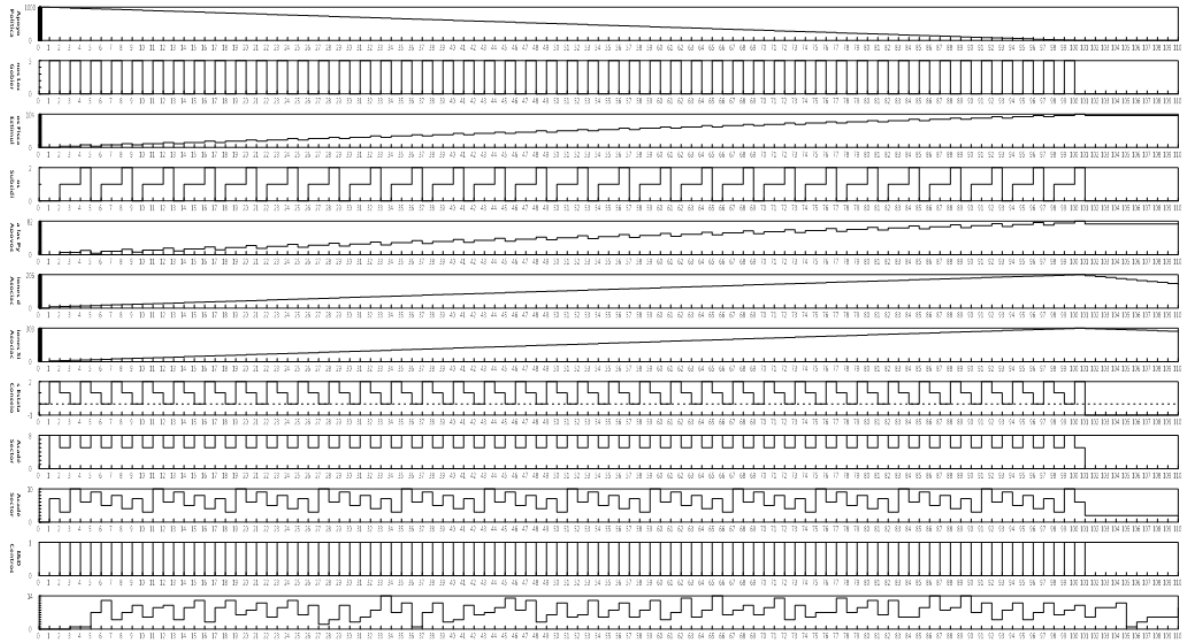
#### *Escenario 1*

Los valores de este escenario pueden verse en la figura 4 e intentan reflejar una economía en desarrollo.



**Fig. 13**

En la figura que precede se puede observar la acumulación de fichas en ciertas variables, indicando que algunas de éstas son críticas y su grado, de acuerdo al número alcanzado. Como el oscilograma de todas las variables resulta muy grande sólo se graficarán algunas de ellas (Fig. 14). En las gráficas se observan algunas dependencias de disparo marcando variables críticas. Se aprecia que aún cuando el apoyo a las PyMEs se mantuvo por los 100 periodos de tiempo que duró la simulación, sólo en 41 de ellos se disparó la consolidación de PyMEs, por lo que se concluye que la configuración actual del sistema no es muy eficiente.



**Fig. 14**

*Escenario 2*

Se aumentaron algunos pesos de salida de la primera capa de transiciones (Fig. 15) y se obtuvo un mejor rendimiento del sistema al dispararse en 51 ocasiones la consolidación de PyMEs.

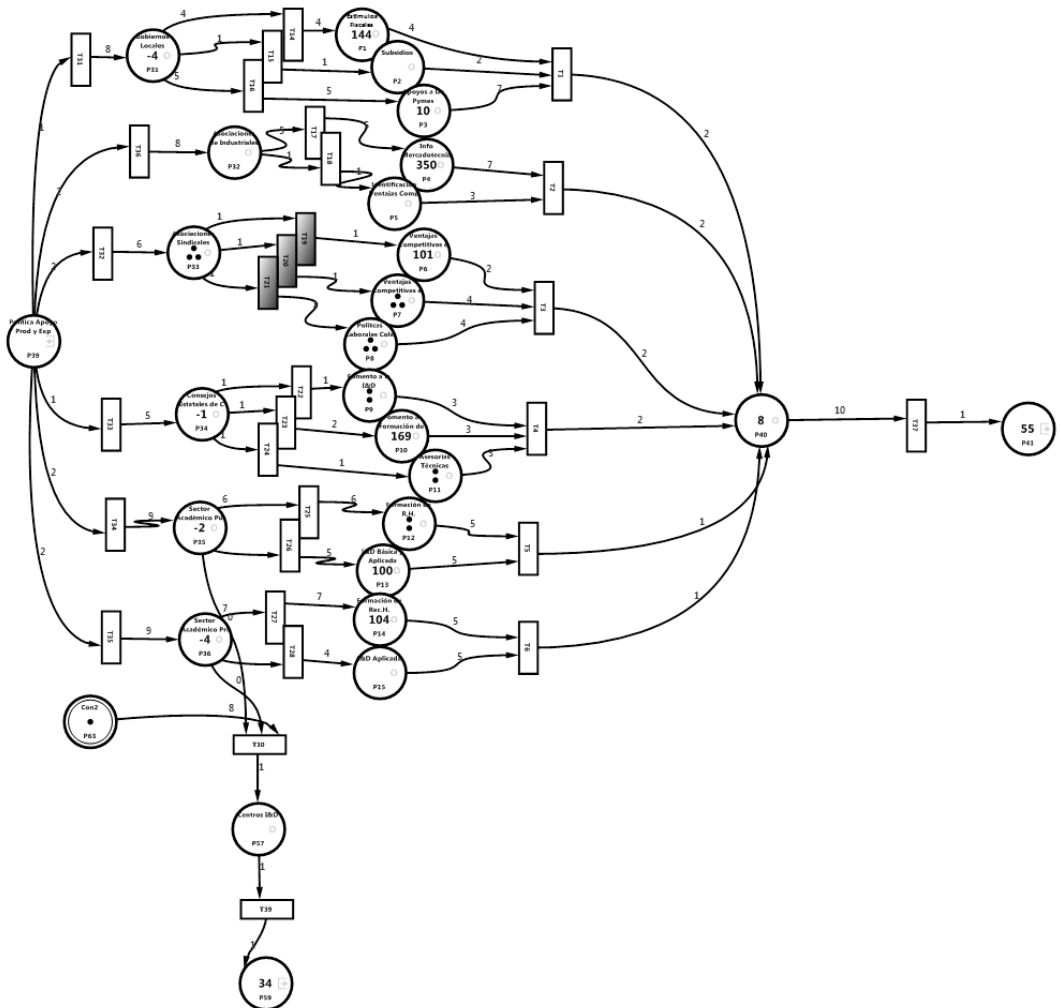


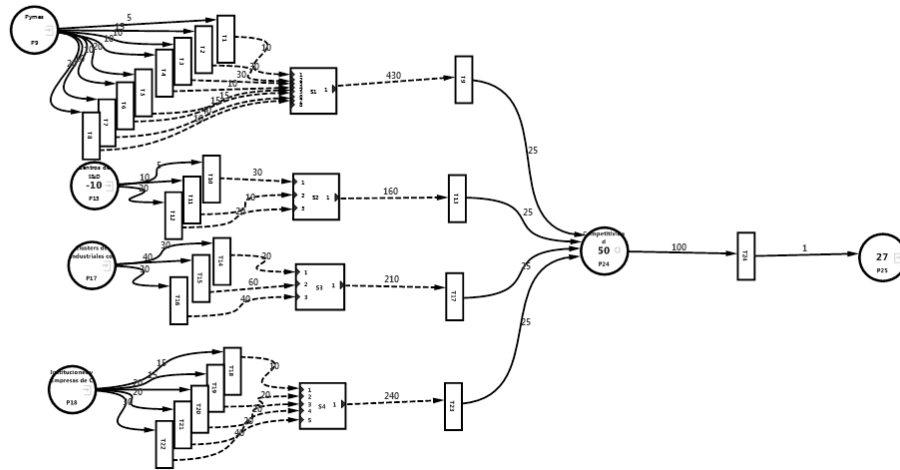
Fig. 15

Micro-nivel

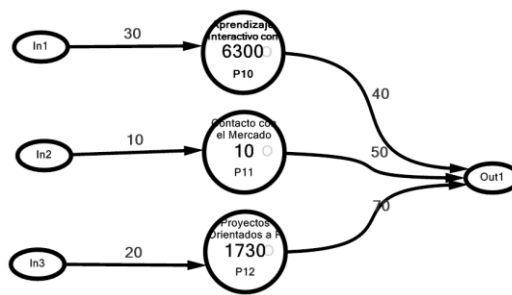
La forma de correr este modelo es muy similar al anterior, con la salvedad de que aquí cada ficha codifica un 1%.

*Escenario 1*

Al igual que en los niveles anteriores se simulará con valores que recrean una economía en desarrollo. Se colocará un número de fichas igual a 100 por el número de periodos que durará la simulación, 100 intervalos, por lo que en cada entrada se ubicarán 10,000 fichas y se ejecutará el modelo.

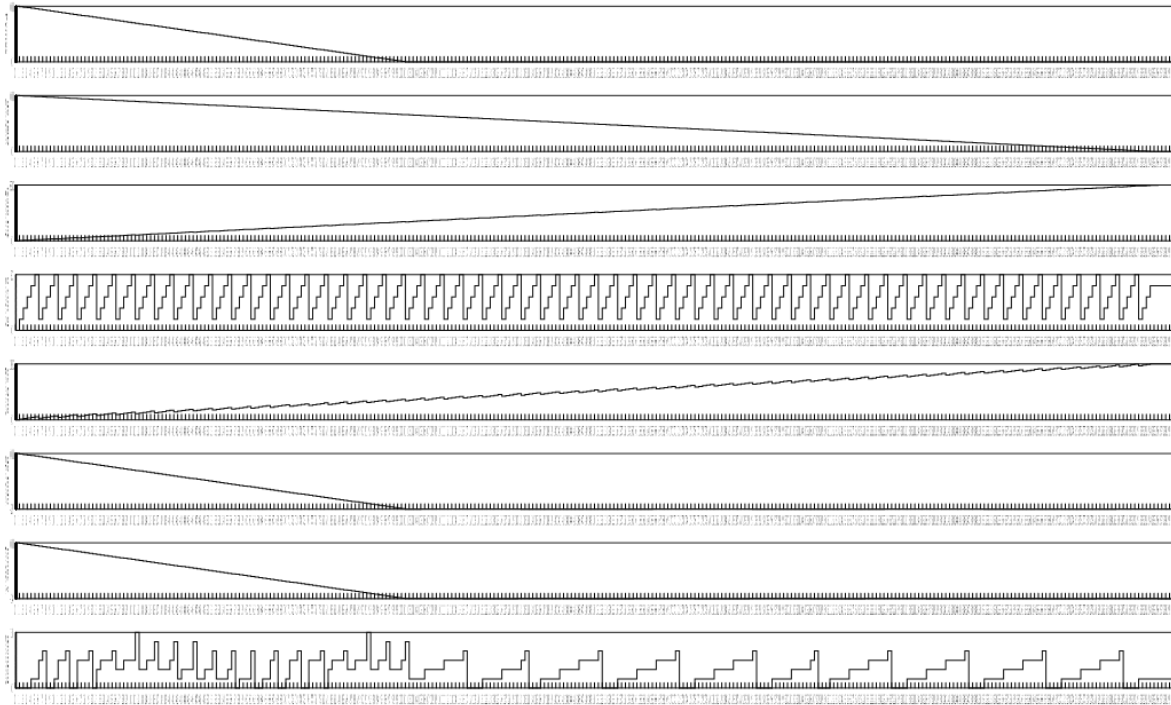


**Fig. 16**



**Fig. 17**

En las figuras 16 a 18 se visualiza el resultado obtenido del modelo. Se observa la acumulación de fichas característica en estos sistemas y también que de 100 intervalos donde se mantuvo el apoyo a los diferentes actores, solamente en 27 ocasiones se alcanzó un 100% de competitividad, lo que indica la poca eficiencia de esta configuración. En el oscilograma (Fig. 18) se observa que la competitividad en un inicio se dispara de forma frecuente y conforme pasa el tiempo este disparo se vuelve más espaciado y con cierta periodicidad.



**Fig. 18**

**Macro-nivel**

*Escenario 1*

Para este caso se aplicará el valor de las siguientes variables como se indica:

Competitividad: -0.9

Entrada empréstitos extranjeros: 0

Porcentaje importaciones finales: 0.9

Entrada importaciones: 80

Porcentaje de consumo intermedio: 0.2

Porcentaje de formación de capital: 0.2

Porcentaje impuesto a la producción: 0.05

Porcentaje cobro de servicios: 0.05

Porcentaje de impuestos al consumo: 0.16

Entrada casto en infraestructura: 0.35

Entrada gastos en servicios: 0.35

Entrada gasto social: 0.30

El resultado del sistema es el siguiente:

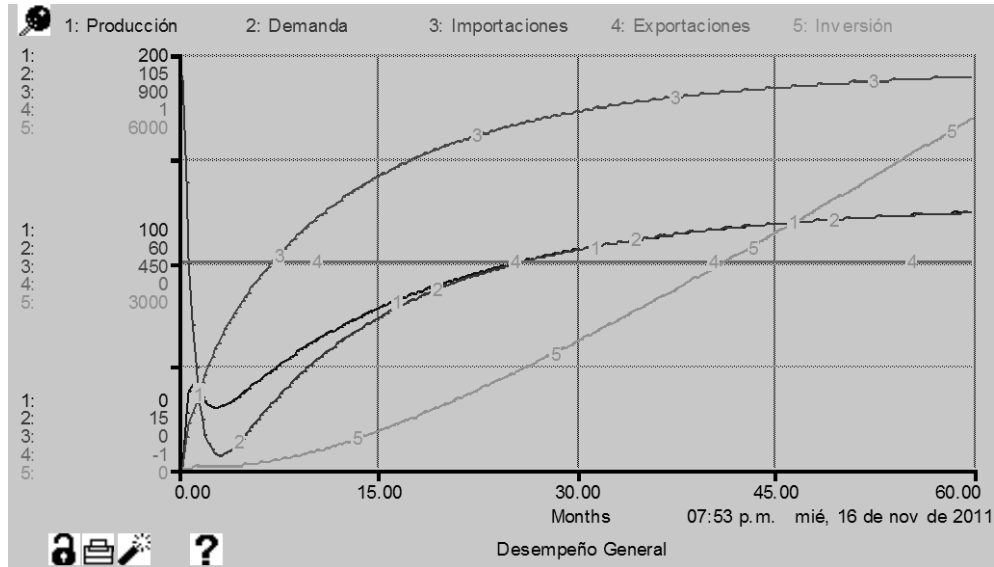


Fig. 19

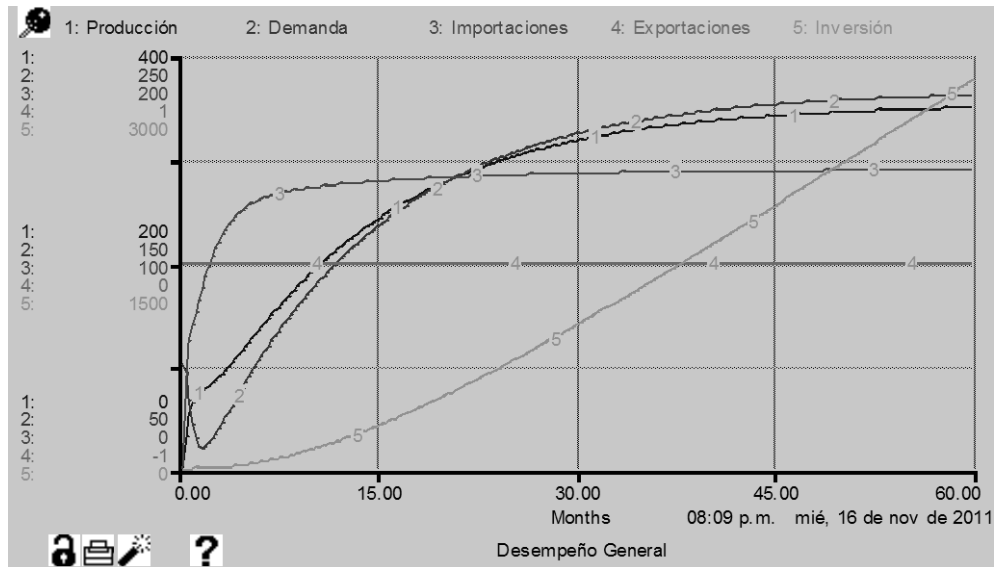
Se observa en la figura anterior (Fig. 19) que la inversión se mantiene creciente a lo largo del tiempo de simulación. Debido a la baja competitividad, las exportaciones son inexistentes. La demanda y la producción se mantienen en crecimiento pero a diferente proporción. Al observar con detalle las escalas de los intervalos se observa que la producción tiene un número máximo de 200, mientras que la demanda sólo alcanza como máximo un valor de 105. Especulando se tiene que las importaciones son las que mantienen el funcionamiento debido a que se conservan siempre crecientes y alcanzan un nivel más alto que la demanda o la producción.

Las inversiones aumentan tanto debido a que mucho de ellas se pierden sin cumplir su función por la baja competitividad.

#### Escenario 2

Se mantendrá el valor de todas las variables y sólo se cambiará el valor de la competitividad.

Competitividad: 0



**Fig. 20**

En la gráfica se aprecian grandes transformaciones (Fig. 20). Las inversiones se mantienen crecientes pero ahora alcanzan un nivel máximo de 3000 en lugar de 6000 del escenario anterior. Las exportaciones se conservan en 0 debido a que la competitividad ya no es tan baja, las importaciones cayeron y ahora no llegan ni a 200 unidades. La demanda y la producción siguen siendo muy similares, pero aumentarán muy probablemente debido a la reducción de las importaciones.

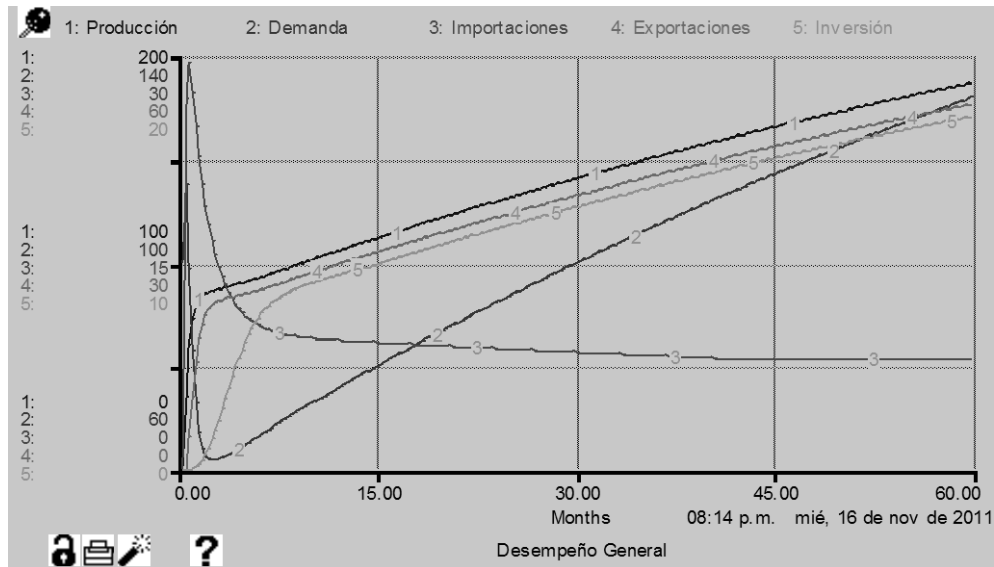
*Escenario 3*

Otra vez sólo se aumentará la competitividad.

Competitividad: 0.9

Los resultados obtenidos son los siguientes:





**Fig. 21**

Los cambios en este caso son más notorios (Fig. 21). La inversión se mantiene creciente pero ahora alcanza un valor máximo muy bajo debido a que la alta competitividad conserva el aumento de la producción y la demanda, sin que el gobierno deba participar mucho. Las importaciones bajan hasta alcanzar casi un nivel de 0 debido a que la producción satisface gran parte de las necesidades locales. La producción y las exportaciones tienen comportamientos similares debido a la aceptación en el mercado mundial de los productos de la región. Se observa que la demanda tiene una gráfica diferente que, proyectada a mayor tiempo, sobrepasaría a la demanda.

### Sistema completo

Para finalizar se realizará una corrida de todo el sistema, pasando los resultados de un nivel a otro de forma manual para obtener el funcionamiento global. Se tomará como unidad de tiempo el año, ya que es suficiente para que los estados de las diferentes variables cumplan con su función. Además, la información que recopilan los países y organizaciones internacionales frecuentemente se expresa de forma anual.

El escenario que se modelará será capturando elementos de la economía de los Estado Unidos Mexicanos durante el año 2008, ya que de este periodo es posible encontrar una gran cantidad de información necesaria para inicializar variables [34, 35, 36, 37, 38, 39].

Debido a ciertas limitaciones de la plataforma que se utilizará para implementar las redes de Petri, los valores de las variables serán usados para fijar los pesos que conectan las transiciones y lugares, de tal forma que el escenario simulado quedará fijo. De esta manera, si la dinámica del sistema desarrolla una mejor economía se verán excedentes en las variables de Petri.

Los valores que tomarán las variables son los siguientes:

**TABLA 5. Inicialización de las Variables**

<b>Macro-nivel</b> //////////////////////////////////////		
<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Exportaciones	0.29	Billones de pesos
Importaciones	4.01	Billones de pesos
Producción	10.99	Billones de pesos
Consumo final	11.57	Billones de pesos
Consumo intermedio	5.94	Billones de pesos
Formación de capital	0.42	Billones de pesos
Inversión	0.02	Billones de pesos
Impuestos a la producción	0.72	Billones de pesos
Porcentaje de impuestos a la producción	6.61	%
Porcentaje de consumo intermedio	54.07	%
Porcentaje de formación de capital	3.90	%
Impuestos al consumo	0.48	Billones de pesos
Porcentaje de impuestos al consumo	4.15	%
Porcentaje cobro de servicios	4.68	
Cobro de servicios	0.51	Billones de pesos
Reservas del gobierno	1.72	Billones de pesos
Porcentaje gasto en infraestructura	0.6	%
Porcentaje gasto en servicios	0.6	%
Competitividad	4	%
<b>Micro-nivel</b> //////////////////////////////////////		
<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Productividad de capital	27	%
Productividad del trabajo	-1	%
Calidad ISO	41	%
Capacidad de respuesta innovativa	29	%
Re-organización logística	42	%
Re-organización de equipos de trabajo	42	%
Digitalización de la producción	42	%
Aprendizaje interactivo	26	%
Contacto con el mercado	26	%
Proyectos orientados a los problemas de las empresas	26	%
Financiamiento a productores	34	%
Financiamiento a la exportación	34	%
Redes de proveedores y clientes	54	%
Asesoría técnica a PyMEs	3	%
Servicios de información	3	%
Modernización de empaque y embalaje	32	%
Contratación de estudios	42	%
Demanda y promoción de infraestructura para la exportación	32	%

<b>Meso-nivel</b> //////////////////////////////////////		
<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Estímulos fiscales	3	%
Subsidios	3	%
Apoyos a PyMEs	3	%
Información de mercadotecnia y promoción	42	%
Identificación de ventajas competitivas en nichos	42	%
Ventajas competitivas en salarios	1	%
Ventajas competitivas en capacitación	1	%
Políticas laborales colaborativas	1	%
Fomento a la I&D	-5	%
Fomento a la formación de recursos humanos	26	%
Asesorías técnicas	-5	%
Formación de recursos humanos	26	%
I&D básica y aplicada	10	%
Formación de recursos humanos	26	%
I&D aplicada	10	%
<b>Meta-nivel</b> //////////////////////////////////////		
<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Límites institucionales definidos	3	%
Valoración del largo plazo	52	%
Flexibilidad de adaptación	52	%
Capacidad de auto-organización	35	%

Pasando estos valores a las redes de Petri quedarán de la siguiente forma:

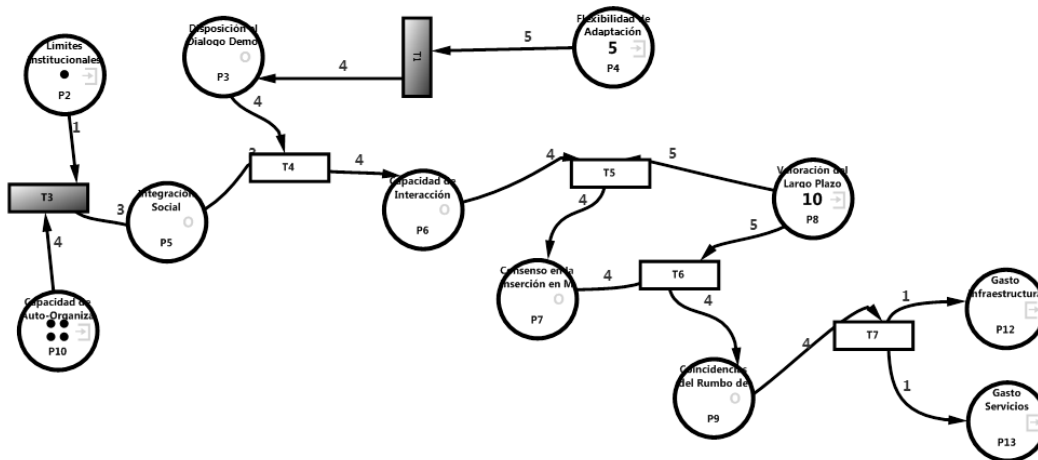


Fig. 22

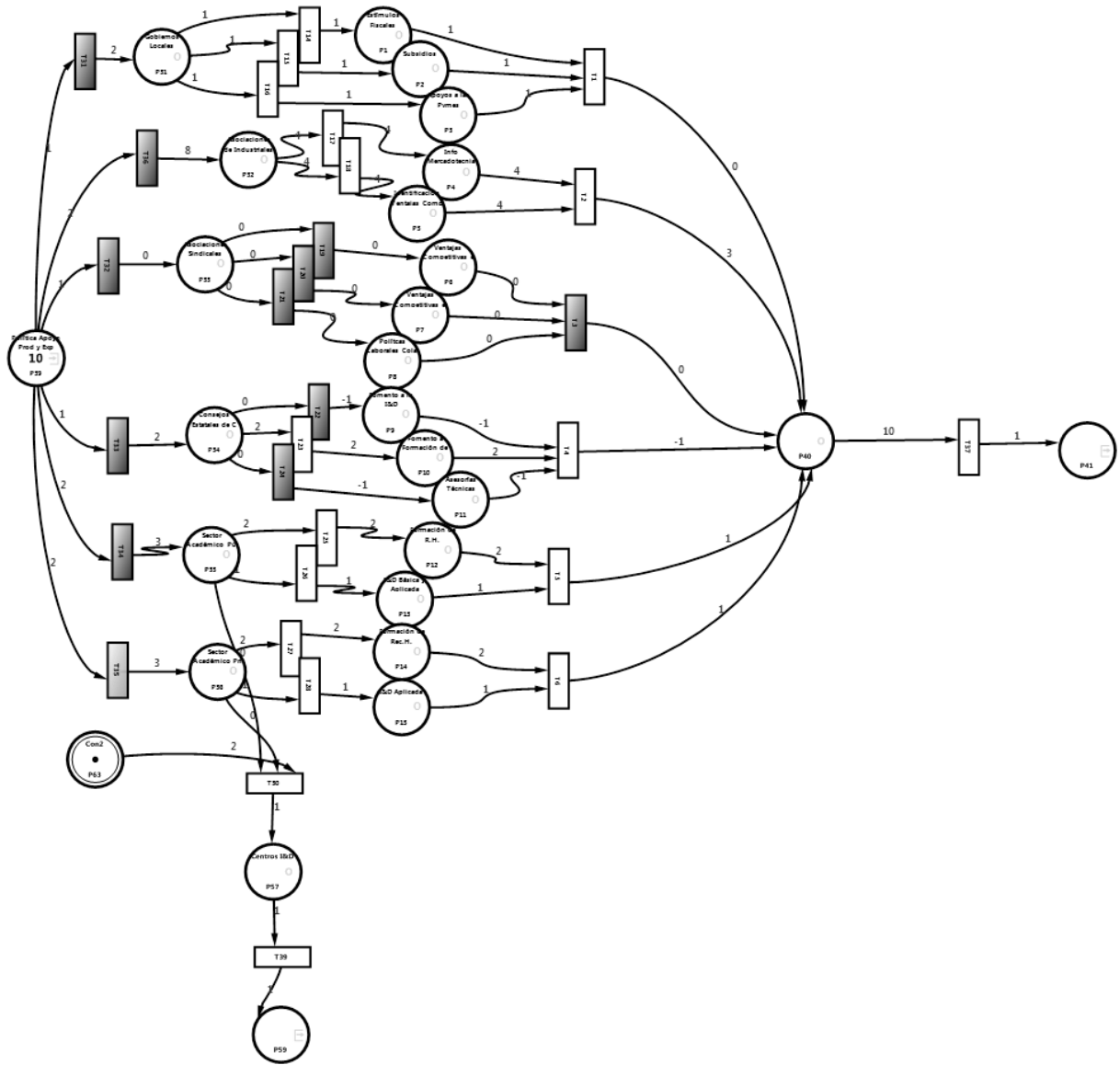
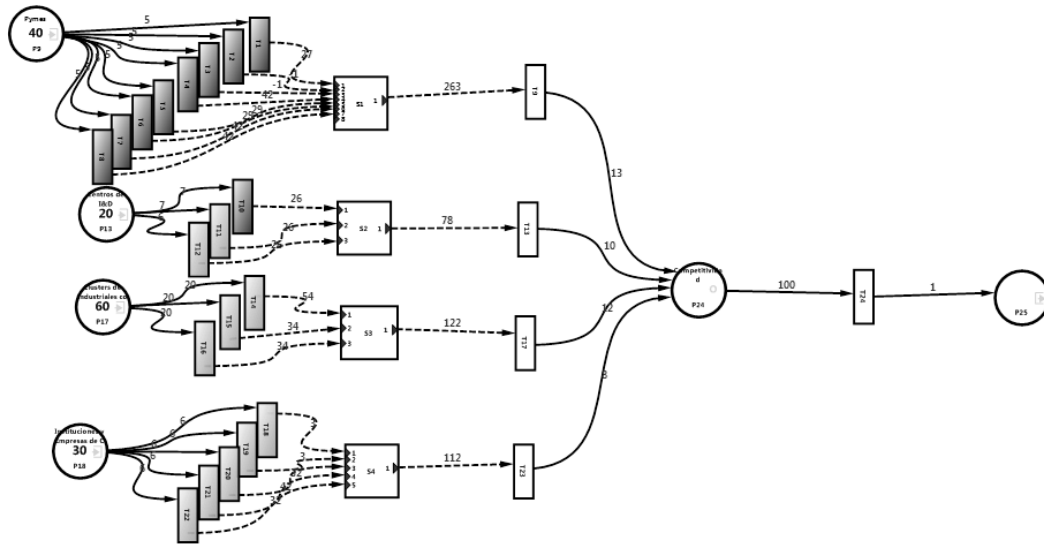


Fig. 23



**Fig. 24**

Se ejecutará el modelo dos veces, la primera hará funcionar los valores inicializados dentro del sistema y la segunda corrida permitirá observar los resultados, consecuencia de la primera.

La primera ejecución del modelo arroja justamente los valores iniciales, lo cual no es de sorprender pues por los pesos en las redes de Petri no se podría esperar otra cosa, aunque es importante hacer mención de que la duración de una iteración del macro-nivel debió ajustarse, pues al ser otra plataforma y otro enfoque, difiere a las de los otros niveles.

Al momento de ejecutar el modelo del macro-nivel se observaron sus salidas y se fijó que una iteración del modelo constaría de tres ticks, donde un tick es una unidad de tiempo utilizada en una plataforma multi-agentes llamada NetLogo[41] y que denomina la ejecución de todos los procesos de un algoritmo dentro de la simulación. Se escogió en este caso la medida de tick para no provocar confusión. La determinación de que tres ticks conformaran una iteración del modelo fue porque al pasar tres ticks la variable de inversión alcanza un estado de 0.027 billones de pesos que es lo más análogo a la cantidad buscada por el presupuesto correspondiente a ese año [35] que es de 0.021 billones de pesos.

Durante la segunda iteración se obtuvo que esta variable alcanzó un nivel de 0.035, lo que equivale a un crecimiento del 66% en las políticas de apoyo, por lo que al correr el meso-nivel se obtiene una consolidación de las PyMEs de 80%, que al pasar al micro-nivel da como resultado un incremento de la competitividad del 16%.

Al revisar los índices de competitividad del siguiente año [40] se encontró que éste no sufrió ningún cambio, como se podría esperar por los resultados del modelo, sin embargo es importante

recalcar dos aspectos. El primero es que este sistema sólo toma en cuenta a una región, pero las demás regiones, en este caso naciones, también están tomando acciones para incrementar o mantener sus niveles de competitividad y algunas de éstas son más eficaces que otras, por lo que establecer un lugar es complicado. El segundo aspecto es recordar que durante el 2008 surgió la crisis hipotecaria, haciendo que varios países entraran en recesión. El mercado especulativo de bienes y servicios no está contemplado en el modelo y se desconoce cómo afecta esto al resultado obtenido.

A pesar de que pareciera que el sistema se encuentra limitado es necesario considerar un reporte generado por el Foro Económico Mundial (WEF) [40] donde se observa una resistencia por parte del sistema económico mexicano a la -en ese entonces- reciente crisis, a pesar de la gran asociación que tiene nuestra economía con la de Estados Unidos de América y que esto puede deberse al impulso que están teniendo las PyMEs dentro del país.

Tomando en cuenta lo anterior y la gran variabilidad de la lista de competitividad, se puede determinar que el resultado arrojado por este modelo no es incorrecto, pues México se mantuvo en su misma posición a pesar del gran dinamismo de la lista y de la crisis que surgía en ese entonces, lo cual se puede explicar perfectamente por un aumento en la competitividad nacional.

## Conclusiones Finales

En este trabajo se revisaron varios enfoques utilizados en la modelación de diversas clases de sistemas que se encuentran en el estado del arte. Después se buscó una problemática que pudiera ser interesante modelar, utilizando alguno de los enfoques antes revisados. Se describió la problemática a profundidad justificando su importancia y complejidad. Asimismo se buscó y definió el marco teórico que serviría para determinar las categorías a utilizar para constituir variables para formar modelos conceptuales sistémicos. Posteriormente se analizó la dinámica de los sistemas observados y se propusieron cuatro modelos sistémicos. Finalmente los modelos se implementaron utilizando redes de Petri y dinámica de sistemas, se usaron plataformas computacionales especializadas en su enfoque respectivo. Se corrieron algunos escenarios y se mostró que las simulaciones se pueden utilizar para obtener información útil y consistente del desempeño de los actores bajo la situación dada.

Si se toma en cuenta un sólo modelo pueden establecerse una gran cantidad de escenarios, al conjuntar dos de ellos la cantidad de posibilidades se amplía enormemente. El pensar en unir los cuatro implicaría realizar un trabajo igual o mayor al realizado aquí.

### Trabajo futuro

Pensando sólo en el modelo más sencillo, que es el relacionado al meta-nivel, se ha limitado el valor de sus pesos en números que van de -10 a 10, con esto una simple conexión entre dos lugares puede tener  $20^{20}$  posibles formas de colocar valores a los pesos. Si se piensa en todas las conexiones que tiene este modelo, el espacio que se podría explorar es muy amplio. Se podrían proponer búsquedas en las que el objetivo sea encontrar cierta configuración en las fichas al pasar determinado tiempo. Esto puede extrapolarse a los otros sistemas modelados en redes de Petri. Para el caso del modelo hecho en dinámica de sistemas, las posibilidades de amplían todavía más debido a la gran cantidad de variables y a que la plataforma utilizada admite valores con punto decimal.

Esto es sólo ajustándose a las limitaciones que imponen las plataformas, ya que es viable pensar en formas de programar una plataforma capaz de ampliar las posibilidades, sobre todo para el caso de las redes de Petri, lo que daría lugar a nuevos espacios de búsqueda o a la posibilidad de simular más escenarios. Otra idea que se plantea bajo esta línea, y que ya no se realizó por la complejidad que podría implicar, es la de unir las simulaciones mediante un programa intermedio o realizar la programación de todo el sistema en una sola plataforma.

Otro aspecto importante de este trabajo es que se realizó la modelación de un sistema muy complejo y el haberlo trabajado paso a paso tiene la finalidad de que estudiosos de diversas áreas del conocimiento puedan aprender a modelar sistemas de igual o menor complejidad con menos esfuerzo, para ampliar los estudios que estén realizando. Los sistemas que salen más beneficiados son aquellos que tienen que ver con dinámica económica, así se busca impulsar el desarrollo de la

economía computacional, la cual es utilizada principalmente en el área de toma de decisiones; de esta forma se pretende impulsar una mejor toma de decisiones, elemento necesario entre las pequeñas empresas que abundan en México.



## Referencias:

- [1] **Yeung D.S. & Tsang E.C.C.** (1998) "A Multilevel Weighted Fuzzy Reasoning Algorithm for Expert Systems", *IEE Trans. SMC Part-A: Systems and Humans*, Vol. 7, pp. 281-299.
- [2] **Xiaoou Li & Lara-Rosano F.** (2000) "Adaptive Fuzzy Petri Nets for Dynamic Knowledge Representation and Inference", *Expert Systems with Applications*, Vol. 19, No. 3.
- [3] **Chen S. M.** (1996) "A Fuzzy Reasoning Approach for Rule-Based System Based in Fuzzy Logics", *IEEE Transactions and Systems, Man and Cybernetics Part-B*, Vol. 6, No. 5, pp. 769-778.
- [4] **Xiaoou Li & Lara-Rosano F.** (2000) "Petri Nets Modeling for Fuzzy Conceptual Models", *Advances in Artificial Intelligence and Engineering Cybernetics*, Vol. VII, G.E. Lasker (ed). Windsor, CANADA: IIAS, ISBN 1-894613-20-1, pp. 27-31.
- [5] **Lara-Rosano F.** (1997) "Petri Net Models of Fuzzy Complex Dynamic Systems", *Advances in Cybernetic Modelling of Complex Systems*, G.E. Lasker (ed). Baden-Baden, ALEMANIA: IIAS, 1997, ISBN 0-921836-600, pp. 11-15.
- [6] **Lara-Rosano F.** (1996) "Fuzzy Causal Modelling of Complex Systems Through Petri Paradigm and Neural Nets", *Advances in Artificial Intelligence and Engineering Cybernetics*, Vol. III. G. E. Lasker (ed). Baden-Baden, ALEMANIA: IIAS, ISBN 0-921836-422, pp. 125-129.
- [7] **Kosko B.** (1986) "Fuzzy Cognitive Maps", *International Journal of Man-Machine Studies*, 24, pp. 65-75.
- [8] **Kane J.** (1972) "A Primer for a New Cross-Impact Language", *Technological Forecasting and Social Change*, 4, pp. 129-142.
- [9] **Forrester J.W.** (1991) "System Dynamics and the Lessons of 35 Years", *the Systemic Basis of Policy Making in the 1990's*, De Greene, Kenyon B. (ed).
- [10] **Kenneth L. Judd** (1997) "Computational Economics and Economic Theory: Substitutes or Complements?".
- [11] **Forrester J. W.** (1958) "Industrial Dynamics—A Major Breakthrough for Decision Makers" *Harvard Business Review*, Vol. 36, No. 4, pp. 37-66.
- [12] **Axelrod R.** (1976) "Structure of Decision: The Cognitive Map of Political Elites", Princeton University Press.
- [13] **Lara-Rosano F.** (1995) "Fuzzy Causal Impact Connectionist Models of Dynamic Systems", *Advances in Systems Studies Volume II*, G.E. Lasker (ed). Baden-Baden, ALEMANIA: IIAS, pp. 22-26.

- [14] **Lara-Rosano F.** (1989) "Uncertain Knowledge Representation through Fuzzy Knowledge Networks based on Lukasiewicz Logic", *Advances in Computer Science*, G.E. Lasker (ed), Windsor, Canada: IIAS, pp. 32-38.
- [15] **Sterman J.** (2000) "Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World", Irwin/McGraw-Hill (ed), ISBN 0-07-238915X.
- [16] **Ackoff R.** (1974) "Redesigning the Future: A Systems Approach to Societal Problems", John Wiley & Sons, New York.
- [17] **Diacu F.** (1996) "The solution of the n-body Problem", *The Mathematical Intelligencer*, 18, pp. 66-70.
- [18] **Bar-Yam Y.** (2004) "Multiscale Variety in Complex Systems", *Complexity* 9, pp. 37-45.
- [19] **Gardner M.** (1970) "The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life"", *Mathematical Games*, 223, pp. 120-123, ISBN 0894540017.
- [20] **Lara-Rosano F.** (2011) "Metodología para el Análisis de Problemas Sociales", Seminario de Métodos, Técnicas y Modelos de la Complejidad Social.
- [21] **Esser, K., Hillebrand, W., Messner, D. y Meyyer-Stamer, J.** (1996) "Systemic Competitiveness. New Governance Patterns for Industrial Development", FrankCass & Co. LTD, London.
- [22] **Freeman, Ch.** (1995) "The National System of Innovation in Historical Perspective", *Cambridge Journal of Economics*, Vol. 19, pp. 5-24.
- [23] **List F.** (1841) "The National System of Political Economy", English Edition (1904), London, Longman.
- [24] **Hollander S.** (1965) "The Sources of Increased Efficiency: A Study of DuPont Rayon Plants", Cambridge, MA, MIT Press.
- [25] **Lundvall B-A.** (1992) "National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning", London, Printer.
- [26] **Senker J.** (1996) "National Systems of Innovation, organizational learning and industry biotechnology", *Technovation*, Vol. 16, No. 5, Elsevier.
- [27] **Cohen, S., Teece, D., Tyson, L. y Zysman, J.** (1984) "Competitiveness" Center for Research in Business, University of California at Berkley.
- [28] **Scott B., Lodge G.** (1985) "U.S. competitiveness in the world economy", *The International Executive*, Vol. 27, issue 1, pp. 26.

- [29] **Esser, K., Hillebrand, W., Messner, D. y Meyyer-Stamer, J.** (1996) “Competitividad Sistémica: Nuevo Desafío a las Empresas y a la Política”, *Revista de la CEPAL*, No. 59, pp. 39-52, Santiago.
- [30] **INEGI** (2003) “Marco Conceptual y Metodológico en Sistema de Cuentas Nacionales de México. Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México 2003-2006. Base 2003”, Ed. 2008, ISBN: 978-970-13-4982-3, México.
- [31] **Railsback S, Grimm V.** (2009) “A Course in Individual-based and Agent-based Modeling”, Draft MS in preparation for publication by Princeton University Press.
- [32] **Polhill J, Parker D, Brown D, Grimm V.** (2008) “Using the ODD Protocol for Describing Three Agent-Based Social Simulation Models of Land-Use Change”, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol. 11, No. 2-3.
- [33] **Grimm V, Berger U, Bastiansen F, Eliassen S, Ginot V, Giske J, Goss-Custard J, Grand T, Heinz S, Huse G, Huth A, Jepsen J, Jorgensen C, Mooij W, Müller B, Pe’er G, Piou C, Railsback S, Robbins A, Robbins M, Rossmanith E, Rüger N, Strand E, Souissi S, Stillman R, Vabo R, Visser U, DeAngelis D.** (2006) “A standard protocol for describing individual-based and agent-based models”, *Ecological Modelling*, 198:115-126.
- [34] **Instituto Nacional de Estadística y Geografía** (2010) “Estadísticas Económicas. Balanza Comercial”, No. 9.
- [35] **Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión** (2007) “Presupuesto de Egresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal 2008”, Diario Oficial de la Federación 13-12-2007.
- [36] **Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión** (2007) “Ley de Ingresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal 2008”, Diario Oficial de la Federación 07-12-2007.
- [37] **Instituto Nacional de Estadística y Geografía** (2009), “Censos Económicos 2009”.
- [38] **World Economic Forum** (2008) “The Global Competitiveness Report 2008-2009”, ISBN-13: 978-92-95044-11-1, Switzerland.
- [39] **Instituto Nacional de Estadística y Geografía** (2011) “Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas de Bienes y Servicios 2006-2010”.
- [40] **World Economic Forum** (2009) “The Global Competitiveness Report 2009-2010”, ISBN-13: 978-92-95044-25-8, Switzerland.
- [41] **Wilensky, U.** (1999). NetLogo.<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.